



MESTRADO EM ENGENHARIA DE SEGURANÇA E HIGIENE OCUPACIONAIS

Dissertação apresentada para obtenção do grau de Mestre
Engenharia de Segurança e Higiene Ocupacionais
Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

FADIGA MUSCULAR NA INDÚSTRIA ALIMENTAR

AVALIAÇÃO POR ELETROMIOGRAFIA EM AMBIENTES TÉRMICOS DIFERENTES

Rosa Patrícia Vieira Gonçalves

Orientador: Professora Mestre Joana Guedes (Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto)

Coorientador: Professor Doutor João dos Santos Baptista (Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto)

Arguente: Professor Doutor Doutor Mário de Almeida Rodrigues Talaia (Universidade de Aveiro)

Presidente do Júri: Professor Doutor Mário Augusto Pires Vaz (Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto)

2014



Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

Rua Dr. Roberto Frias, s/n 4200-465 Porto PORTUGAL

VoIP/SIP: feup@fe.up.pt ISN: 3599*654



Telefone: +351 22 508 14 00



Fax: +351 22 508 14 40



URL: <http://www.fe.up.pt>



Correio Eletrónico: feup@fe.up.pt

AGRADECIMENTOS

À minha orientadora e coorientador, Professora Doutora Joana Santos e Professor Doutor João dos Santos Baptista, o meu mais sincero agradecimento, pela sua disponibilidade, pelo esclarecimento de dúvidas e incentivo e pelo seu grande apoio e orientação para a concretização deste trabalho.

Aos meus pais e irmão, que estiveram sempre presentes, que me deram todo o apoio, incentivo e compreensão nas fases mais críticas deste percurso, pois sem a sua ajuda não seria possível concretizar este trabalho.

Às minhas colegas e amigas Inês Pinto e Raquel Martins que me acompanharam nos últimos anos, ao longo deste percurso, agradeço a amizade, encorajamento, apoio e confiança.

Ao meu amigo Teerayut Sa-niamsak, agradeço toda a ajuda e disponibilidade na concretização deste trabalho.

A todos os meus amigos, agradeço a grande amizade, a força e coragem que me incentivaram a ter e a inesgotável paciência e compreensão nos momentos mais difíceis no meu percurso académico.

Ao Tommi Zlatar e as suas amigas com quem contactei durante este estudo, o meu muito obrigada pelo apoio e ajuda.

Ao Laboratório de Biomecânica da Universidade do Porto, agradeço a disponibilidade para facultação do equipamento necessário para a realização deste estudo, dedicação e informação disponibilizada por toda a equipa técnica.

Aos voluntários, pois foram o meu objeto de estudo, agradeço a cooperação e disponibilidade, sem eles não conseguiria realizar este estudo.

A todos o meu sincero agradecimento.

Rosa Gonçalves

RESUMO

A fadiga muscular é um dos fatores causadores das Lesões Músculo-Esqueléticas. O Homem encontra-se exposto ambientes térmicos frios e quentes e às suas consequências. Em contexto ocupacional o Homem encontra-se expostos a baixas temperaturas na Indústria dos Lacticínios e em outros determinados subsectores da Indústria Alimentar. Ambientes frios provocam a diminuição do desempenho na execução de tarefas, podendo provocar problemas de saúde, segurança, como o aumento da probabilidade de acidentes e a gravidade das doenças, influenciando deste modo significativamente o estado de fadiga muscular nos trabalhadores. **OBJECTIVO:** Analisar a evolução da frequência mediana ao longo da realização de uma determinada tarefa em diferentes condições térmicas. **METODOLOGIA:** Seleccionaram-se treze indivíduos do sexo feminino (N=13) para a avaliação da fadiga muscular por eletromiografia de superfície com o *Trigno TM Wireless System, DELSYS*, em ambientes térmicos frios e neutros, em contexto laboratorial. Avaliou-se ainda a força por dinamometria antes e após a exposição a diferentes condições térmicas. Por fim, avaliou-se a percepção dos trabalhadores relativamente à fadiga muscular e condições térmicas (N=13). **RESULTADOS:** Na avaliação da fadiga muscular por eletromiografia de superfície, constatou-se que num ambiente frio, o lado dominante ao final tarefa encontrava-se em fadiga ($p < 0,05$). Não se verificaram diferenças significativas entre os dois trapézios ($p > 0,05$). No entanto identificou-se que o trapézio do lado dominante apresenta tendencialmente um menor grau de fadiga muscular do que o músculo do lado não dominante. Não se constatarem diferenças significativas ($p > 0,05$) de força antes e após a exposição a diferentes condições térmicas. A aplicação do questionário *Análise das Condições Térmicas nos Locais de Trabalho* permitiu verificar que 30,8% e 61,5% dos indivíduos consideraram que se sentiam "Com muito frio" e "Com um pouco de frio" respetivamente, o que pode significar que o frio pode levar ao aumento da fadiga. A expressão "dor" e "rigidez articular" são as mais frequentes na análise do questionário SOFI. **CONCLUSÕES:** Em termos gerais, os sujeitos no desempenho da sua tarefa, num ambiente térmico frio, apresentaram um estado de fadiga superior do que em condições térmicas neutras.

Palavras-chave: Fadiga muscular, ambiente térmico frio, ambiente térmico neutro, dinamometria, percepção da fadiga.

RESUMO

Muscle fatigue is one of the contributing factors of Musculoskeletal Injuries. The Man is exposed to cold and hot thermal environments and their consequences. In the occupational setting Man is exposed to low temperatures in the Dairy Industry and certain other Food-processing Industry. Cold environments can cause the performance impairing in executing tasks, health and safety problems, as increasing the probability of accidents and the severity of disease, therefore influence significantly the state of muscle fatigue on workers. **OBJECTIVE:** Analyse the evolution of the median frequency over performing a certain task in different thermal conditions. **METHODS:** It was selected thirteen females ($N = 13$) for the evaluation of muscle fatigue by surface electromyography with *Trigno TM Wireless System, DELSYS* in cold and thermal neutral environments in laboratory. The force was evaluated by handgrip dynamometer before and after exposure to different thermal conditions. Finally, the workers' perception concerning the muscle fatigue and thermal conditions ($N = 13$) was evaluated. **RESULTS:** In cold environment, the dominate side was in fatigue at the end of the task ($p < 0.05$). There were no significant differences between the right and left trapezius ($p > 0.05$). However it was identified that the trapezius of the dominant side tends to have a lower degree of muscle fatigue than the non-dominant side muscle. There was no significant difference ($p > 0.05$) strength before and after exposure to different thermal conditions. The questionnaire *Analysis of Thermal Conditions in the Workplace* has shown that 30.8% and 61.5% of individuals felt that they were "With cold" and "With a little cold" respectively, which can means that the cold can lead to increased fatigue. The expression "pain" and "muscular" are the most common in the analysis of the questionnaire SOFI. **CONCLUSIONS:** Overall, the subjects in the performance of their task in an environment cold, had higher state of fatigue than under neutral thermal conditions.

Keywords: Muscle fatigue, cold thermal environments, thermal neutral environments, dynamometry, perception of fatigue.

ÍNDICE

1	INTRODUÇÃO	1
2	ESTADO DA ARTE.....	3
2.1	Conhecimento Científico.....	3
2.1.1	Lesões músculo-esqueléticas	3
2.1.2	Fadiga Muscular	4
2.1.2.1	Métodos de avaliação da fadiga muscular	6
2.1.3	Ambiente térmico frio	7
2.1.3.1	Balanço térmico e parâmetros básicos do ambiente térmico.....	7
2.1.3.2	Termorregulação humana	8
2.1.3.3	Índices de stresse térmico	10
2.1.4	Relação entre fadiga muscular e a exposição a ambientes térmicos frios	11
2.2	Enquadramento Legal e Normativo	11
2.3	Tecnologias disponíveis	13
3	OBJETIVOS, MATERIAIS E MÉTODOS	18
3.1	Objetivos da Dissertação	18
3.2	Materiais e Métodos	18
3.2.1	Envolvente e/ou contexto	19
3.2.2	Equipamentos, protocolos e questionários	19
3.2.2.1	Amostra	19
3.2.2.2	Exposição a ambientes térmicos.....	20
3.2.2.3	Avaliação por eletromiografia de superfície	20
3.2.2.4	Avaliação da temperatura cutânea	21
3.2.2.5	Avaliação da força pelo dinamómetro	22
3.2.2.6	Avaliação da perceção dos sujeitos	22
3.2.3	Análise de dados e estatística	24
4	RESULTADOS	27
4.1	Avaliação do sinal eletromiográfico	27
4.2	Avaliação da temperatura cutânea.....	38
4.3	Avaliação da força (kgf).....	38
4.4	Avaliação da perceção dos voluntários	39
4.4.1	Questionário – Análise das Condições Térmicas nos Locais de Trabalho.....	39
4.4.2	Questionário – SOFI.....	44
5	DISCUSSÃO.....	47
	Avaliação do sinal eletromiográfico	47
5.2	Avaliação da força pelo dinamómetro	49

5.3	Avaliação da perceção dos voluntários	50
6	CONCLUSÕES E PERSPETIVAS FUTURAS	53
6.1	Conclusões	53
6.2	Perspetivas Futuras	53
7	BIBLIOGRAFIA	57

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Fases de desenvolvimento do estudo.....	19
Figura 2: Trigno TM Wireless System, DELSYS.....	21
Figura 3: Termopar: Monitor Plux 29.....	22
Figura 4: Grip-D T.K.K. 5101.....	22
Figura 5: Evolução do VE no trapézio não dominante dos 13 indivíduos avaliados.....	31
Figura 6: Evolução do VE no trapézio dominante dos 13 indivíduos avaliados.....	36
Figura 7: MDF dos músculos trapézio não dominante e dominante.....	38
Figura 8: MDF dos músculos trapézio não dominante e dominante.....	38
Figura 9: Sensações térmicas num ambiente térmico frio.....	40
Figura 10: Sensações térmicas num ambiente térmico neutro.	40
Figura 11: Preferências térmicas num ambiente térmico neutro....	Erro! Marcador não definido.
Figura 12: Preferências térmicas num ambiente térmico frio.	41
Figura 13: Tolerabilidade num ambiente térmico neutro.....	42
Figura 14: Tolerabilidade num ambiente térmico frio.	Erro! Marcador não definido.
Figura 15: Aceitabilidade de um ambiente térmico frio.	43
Figura 16: Aceitabilidade de um ambiente térmico neutro.	43
Figura 17: Avaliação Afetiva num ambiente térmico frio.	44
Figura 18: Avaliação Afetiva num ambiente térmico neutro.	44

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1: Valores limite dos parâmetros fisiológicos de tensão térmica.	10
Tabela 2: Metodologias para avaliação do stresse térmico devido à exposição ao frio.	11
Tabela 3: Legislação nacional aplicável.	12
Tabela 4: Normalização internacional aplicável a Ambientes Térmicos Frios e Moderados.	12
Tabela 5: Descrição das 5 dimensões da fadiga.	16
Tabela 6: Características pessoais dos indivíduos.	19
Tabela 7: Distribuição das expressões propostas para a adaptação do questionário SOFI.	23
Tabela 8: Valores obtidos de MDF e o valor de p obtido com o teste estatístico.	36
Tabela 9: Variável diferença MDF e os respectivos valores prova obtidos pelo Teste <i>Wilcoxon</i> . ..	37
Tabela 10: Valores da Força (kgf) e os valores de p obtidos com os testes estatísticos.	39
Tabela 11: Coeficiente de correlação de <i>Pearson</i>	39
Tabela 12: Frequência (N) da resposta 5 e 6 a cada expressão do questionário SOFI.	45

SIGLAS

AESST - Agência Europeia Saúde e Segurança no Trabalho

Desvio padrão - Dp

EASHW - *European Agency for Safety and Health at Work*

HD-EMG - Eletromiografia de superfície de alta densidade

HSE - *Health and Safety Executive*

IMC - Índice de Massa Corporal

IREQ – Índice do Isolamento Térmico do Vestuário Requerido

ISO - *International Organization for Standardization*

LME – Lesões Músculo-Esqueléticas

LMERT - Lesões Músculo-Esqueléticas Relacionadas com o Trabalho

MDF – Frequência mediana

MFCV - Velocidade de condução da fibra muscular

NIOSH - *National Institute for Occupational Safety and Health*

OCRA - *Occupational Repetitive Actions*

OMS - Organização Mundial da Saúde

OSHA - *Occupational Health and Safety Administration*

RMS - *Root mean square*

RULA - *Rapid upper limb assessment*

sEMG - Eletromiografia de superfície

SPSS - *Statistical Package for the Social Sciences*

Valores médios – X

VE - Valor eficaz

WCI - Índice de Arrefecimento pelo Vento

1 INTRODUÇÃO

A fadiga muscular pode ser definida como a incapacidade de o sistema músculo-esquelético gerar elevados níveis de força muscular ou manter esses níveis no tempo. Resulta do trabalho físico realizado e está relacionada com intensidade do esforço (ROGER M Enoka & DOUGLAS G Stuart, 1992). Quando esta se torna crónica ou excessiva pode interferir com a qualidade de vida dos indivíduos (González Gutiérrez, Jiménez, Hernández, & López López, 2005), sendo o seu relato comum nos cuidados de saúde primários em países desenvolvidos. Por exemplo, nos Estados Unidos da América os sintomas “cansaço e exaustão” causaram mais de dois milhões de visitas ao médico a cada ano (Glyn Lewis & Simon Wessely, 1992).

É considerada a existência de uma relação entre atividade profissional e a saúde ao longo da vida, em que as posturas incorretas, os movimentos repetitivos, a mudanças de posição e a ausência de pausas, conduzem à acumulação de fadiga. Esta pode originar uma gradual diminuição da capacidade para o trabalho, aumentar o risco do desconforto e de dor, e contribuir deste modo para a taxa de absentismo por doença (Ting, 2007).

Alguns estudos referem que a fadiga muscular se encontra na génese das Lesões Músculo-Esqueléticas Relacionadas com o Trabalho (LMERT) (Ma, Chablat, Bennis, & Zhang, 2009; Soo et al., 2009).

Atualmente há uma prevalência elevada de Lesões Músculo-Esqueléticas (LME) (Buckle, Devereux, & European Agency for Safety and Health at, 1999; Stephanie Y Kao, 2003 ; EASHW, 2010) devido às exigências impostas pelas ocupações profissionais, como por exemplo a indústria. Determinadas atividades ocupacionais exigem a contração dos mesmos grupos musculares durante longos períodos de tempo, o que pode causar as Lesões Músculo-Esqueléticas Relacionadas com o Trabalho (LMERT).

Em Portugal, verifica-se a prevalência das doenças profissionais com incapacidade causadas por agentes físicos (77%), em que as referidas patologias são as que apresentam um crescimento mais acentuado (J. Sousa, Mota, Gomes, & Barros, 2008). Os trabalhadores portugueses mais afetados por estes problemas compreendem os trabalhadores sectores da construção, exploração mineira e manufatura, os jovens e o sexo feminino (EASHW, 2010). De facto, este tipo de lesões é um problema não só individual e organizacional nas indústrias mas também social, com custos incommensuráveis (Bernard, 1997).

A prevalência destas patologias representam custos indiretos e diretos para as empresas e a sociedade em geral. Os custos indiretos estão associados a diminuições de produtividade e de qualidade e à formação de novos trabalhadores contratados para substituírem os trabalhadores com este tipo de patologias. Enquanto os custos diretos encontram-se associados a indemnizações pagas aos trabalhadores pela ocorrência de LME resultantes da ocupação profissional. Deste modo, estas constituem 30 a 50% dos custos totais (Hagberg, Kuorinka, & Forcier, 1995).

A Indústria Alimentar encontra-se integrada na secção das indústrias transformadoras, compreendendo nove principais atividades, designadamente o abate de animais, preparação de carne e de produtos à base de carne; preparação e conservação de peixes, crustáceos e moluscos; preparação e conservação de frutos e de produtos hortícolas; produção de óleos e gorduras animais e vegetais; indústria de lacticínios; transformação de cereais e leguminosas; fabricação de amidos, de féculas e de produtos afins; fabricação de produtos de padaria e outros produtos à base de farinha; fabricação de outros produtos alimentares; fabricação de alimentos para animais (Instituto Nacional de Estatística, 2007). A produção de produtos alimentares é realizada num ambiente controlado. No entanto é um ambiente laboral que pode envolver operações perigosas, no que concerne à segurança e saúde dos trabalhadores¹.

¹ <https://osha.europa.eu/pt/publications/e-facts/efact52>

A Indústria Alimentar é um dos sectores com uma das taxas de acidentes de trabalho mais elevadas da Indústria Transformadora. Por exemplo, em 2006 e 2007 na Grã-Bretanha, 23,9% dos acidentes de trabalhos ocorridos no sector da Indústria corresponderam à Indústria Alimentar².

Em determinados subsectores da Indústria Alimentar, como por exemplo na Indústria dos Lacticínios, os trabalhadores encontram-se expostos a baixas temperaturas no seu ambiente laboral (Agência Europeia para a Segurança e a Saúde no Trabalho, n.d.¹; Waga³)

O ser humano tem sido exposto ao longo da sua evolução a ambientes térmicos frios e quentes e às suas consequências (Parsons, 2003). Ocupacional mente, a exposição do Homem a um ambiente térmico frio provoca a diminuição do seu desempenho na execução do seu trabalho, podendo provocar problemas de saúde, segurança e produtividade (Holmér, 1994). Consequentemente, a probabilidade de acidentes e gravidade das doenças tende a aumentar, e podem verificar-se mudanças de comportamento, diminuição da concentração e do rendimento no trabalho (Parsons, 2003).

² <http://www.hse.gov.uk/food/slips.htm>

³ http://www.bgn.de/472/1752?highlight_search_words=k%C3%A4lte

2 ESTADO DA ARTE

2.1 Conhecimento Científico

Neste estudo foi efetuada uma revisão bibliográfica detalhada, tendo por base a definição do problema descrito na introdução. Posteriormente selecionaram-se os instrumentos de avaliação indispensáveis e mais adequados.

A pesquisa bibliográfica foi realizada durante o período de elaboração do estudo, tendo por base a metodologia de revisão sistemática referenciada em PRISMA *Statement*⁴, e com o sentido de restringir os resultados ao âmbito específico um dos termos “*muscle fatigue*”, “*cold stress*”, “*thermoregulation in the cold*” ou ainda “*cold environment*”. Outros termos foram utilizados, como “*surface electromyography*”, “*muscle fatigue*” e “*cold environment*”. As expressões “*handgrip dynamometer*”, “*muscle fatigue*” ou “*physical exertion*” estiveram também presentes na pesquisa.

A seleção e triagem de artigos científicos foram efetuadas com o auxílio da ferramenta de interface de pesquisa do sistema de metapesquisa da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, e recorreu-se a três bases de dados principais: *PubMed*, *Scopus*, *ScienceDirect*. A seleção e triagem de artigos científicos foram efetuadas mediante a informação apresentada no resumo. Contudo, deu-se preferência aos artigos científicos que se encontravam completos, de maneira a minimizar erros de interpretação por informação insuficiente que determinado resumo pudesse eventualmente fornecer.

A organização dos artigos científicos, normas, livros e teses efetuou-se com recurso ao programa *Endnote X7*.

2.1.1 Lesões músculo-esqueléticas

Atualmente na indústria a automatização ocupa cada vez mais o lugar do trabalho manual repetitivo, porém ainda existem operações de manuseamento manual como a montagem e o trabalho de manutenção (Forsman, Hasson, Medbo, Asterland, & Engstorm, 2002 *cit in* (Ma, Zhang, Chablat, Bennis, & Guillaume, 2009a). As lesões músculo-esqueléticas (LME) são um dos maiores problemas de saúde para trabalhadores envolvidos neste tipo de operações (Ma, Zhang, Chablat, Bennis, & Guillaume, 2009b). São lesões e distúrbios nos músculos, nervos, tendões, ligamentos, articulações, cartilagens e nos discos da coluna vertebral e não incluem lesões resultantes de escorregões, tropeções, quedas ou acidentes semelhantes (Maier & Ross-Mota, 2000)⁵.

Nos últimos anos, a prevalência das LME têm aumentado (Buckle et al., 1999; Stephanie Y Kao, 2003; S. Y. Kao, 2003; Schneider, Irastorza, & Copsey, 2010), sendo na Europa a patologia dominante mais registada no contexto das doenças profissionais (Buckle, Devereux, & European Agency for Safety and Health at, 1999). Quando as LME ocorrem no exercício de uma dada atividade profissional designam-se por LMERT que resultam da ação de fatores de risco profissionais (Uva, Carnide, Serranheira, Miranda, & Lopes, 2008).

Estudos epidemiológicos evidenciam um modelo multifatorial de risco para as LME (David, 2005; Hagberg et al., 1995). Assim, dado a sua natureza multifatorial, existe um amplo conjunto de fatores de risco que contribuem para o seu aparecimento, destacando-se o grupo de fatores de risco

⁴ <http://www.prisma-statement.org/>

⁵ <http://www.cbs.state.or.us/external/imd/rasums/resalert/msd.html>.

profissionais como a aplicação de força, levantamento e transporte de cargas, choques e impactos, repetitividade, posturas estáticas, contacto com ferramentas vibratórias e ambientes térmicos desagradáveis (Bernard, 1997). A repetitividade é um dos fatores de risco determinante e mais aceite para o aparecimento de LMERT (Occhipinti, 1998). Existe também uma relação entre a temperatura ambiente e a incidência de LME. Por exemplo, o frio é um fator físico que provoca a diminuição da força do punho (Vincent & Tipton, 1988) originando um aumento da atividade muscular para proteger o corpo (Sundelin & Hagberg, 1992), podendo conduzir o sistema músculo-esquelético a um sobre esforço.

Existem ainda outros grupos de fatores significativos para o aparecimento desta patologia, como por exemplo, fatores individuais tais como a idade, sexo, características antropométricas (Barbara A Silverstein, Lawrence J Fine, & Thomas J Armstrong, 1986), obesidade, tabagismo ou força muscular. Outros aspetos relacionam-se com a capacidade de trabalho (Punnett & Wegman, 2004); e com fatores de risco organizacionais ou psicossociais (Bongers, de Winter, Kompier, & Hildebrandt, 1993), como os ritmos intensos de trabalho e a monotonia das tarefas que também contribuem para o aparecimento de LME. Segundo a *European Agency for Safety and Health* (2007), estes grupos de fatores podem atuar isoladamente ou em conjunto.

Não obstante, pode-se assumir que a fadiga muscular encontra-se estritamente relacionada com as LME (Ma, Chablat, et al., 2009), uma vez que esta reduz a potência muscular, induzindo desconforto e dor, e a longo prazo contribui para as LME (Chaffin, Andersson, & Martin, 2006).

2.1.2 Fadiga Muscular

A fadiga é uma experiência comum no nosso quotidiano, e tem sido documentada em diferentes ocupações profissionais (Troiano et al., 2008). Independentemente da causa, o resultado final é uma diminuição na geração de força muscular (Cifrek, Medved, Tonković, & Ostojić, 2009; Powers & Howley, 2003), devido à produção de força prejudicada ao nível do mecanismo de pontes cruzadas (*cross-bridge*) (Powers & Howley, 2003).

A fadiga é definida tradicionalmente como um mecanismo fisiológico que induz a redução da capacidade de força máxima de um músculo (Gandevia, 2001) ou do poder de saída (Nina K, 1997). Para outros autores (R. M. Enoka & D. G. Stuart, 1992; Green, 1997), a sua definição é um pouco mais complexa - para estes é a incapacidade do músculo-esquelético poder gerar elevados níveis de força muscular ou manter esses níveis no tempo, manifestando-se de forma aguda. A falha de um dos processos envolvidos na contração muscular pode originar a fadiga (Silva, Martinez, Pacheco, & Pacheco, 2006). Em contexto ocupacional, pode ser causada por trabalho repetitivo, ciclos de trabalho curtos, e ainda por cargas musculares localizadas (Troiano et al., 2008). A ocorrência da fadiga muscular é o resultado de uma cadeia de metabólica, modificações estruturais e energéticas no músculo, devido a oxigénio insuficiente e a substâncias nutritivas irrigadas através da circulação sanguínea, e também é o resultado de modificações na eficiência do sistema nervoso (Cifrek et al., 2009).

A fadiga muscular difere de uma lesão no músculo, pois esta é reversível com algumas horas de descanso, enquanto a recuperação total da lesão muscular pode levar dias ou semanas (Fitts, 2008). Dependendo do tipo de exercício e das condições ambientais, a fadiga pode resultar em perturbações no sistema nervoso central e/ou fatores periféricos dentro do músculo-esquelético (Powers & Howley, 2003); isto é, a fadiga muscular pode ter origem central ou periférica.

A fadiga muscular com origem central pode resultar de alterações do *input* neural que atinge o músculo, sendo representada por uma redução progressiva da velocidade e da frequência de condução do impulso voluntário aos moto-neurónios durante a atividade física, encontrando-se

relacionada com a variação das concentrações de glicose sanguínea, de aminoácidos de cadeia ramificada e da síntese de alguns neurotransmissores, enquanto a fadiga muscular de origem periférica resulta de alterações de homeostasia no próprio músculo - há um decréscimo da força contrátil independentemente da velocidade de condução do impulso neural (J. Mark Davis, 1995; J. M. Davis & Bailey, 1997).

A fadiga periférica pode-se distinguir em dois conceitos diferentes: a fadiga de baixa frequência (FBF) e fadiga de alta frequência (FAF). A FBF caracteriza-se por uma forte diminuição da força relativa gerada pelas fibras quando estimuladas a uma baixa frequência (10-30 Hz), por uma recuperação lenta da força, pela persistência de sinais de fadiga na ausência de significativos distúrbios elétricos ou metabólicos (Stuart A Binder-Macleod & David W Russ, 1999) e pela duração da sua manifestação (horas ou dias) (Chin, Balnave, & Allen, 1997). A perda de homeostasia celular ao ião Ca^{2+} , sobretudo o seu aumento no citoplasma, é possivelmente uma das causas mais prováveis da FBF (S. A. Binder-Macleod & D. W. Russ, 1999; Chin et al., 1997; Favero, 1999; Sejersted & Sjøgaard, 2000). (Supinsky, Nethery, & DiMarco, 1999), identificaram que os níveis elevados de Ca^{2+} , juntamente com uma exposição prolongada a situações de isquemia/reperfusão consequentes de um exercício, estimulam uma maior produção de espécies reativas de oxigénio, que se encontram associadas aos mecanismos que instigam a lesão muscular esquelética através da sua ação sobre algumas estruturas celulares. Desta forma, é possível afirmar que os fatores responsáveis pela FBF estão relacionados com alguns mecanismos subjacentes à lesão muscular esquelética.

A FAF é caracterizada por diminuição da força durante períodos de estimulação de alta frequência (50-100 Hz), acompanhada pela diminuição da amplitude e duração do potencial de ação, bem como pelo aumento das concentrações de Na^+ intracelulares e K^+ extracelulares (Jones, 1996; Sejersted & Sjøgaard, 2000).

Alguns estudos no âmbito da fadiga muscular relacionam alterações de parâmetros cinemáticos induzidas por esta na identificação de fatores de risco para ocorrência de LME (Mizrahi, Verbitsky, & Isakov, 2000, 2001; Voloshin, Mizrahi, Verbitsky, & Isakov, 1998). A análise cinemática é o estudo dos padrões e geometrias dos movimentos. O conhecimento do estudo do movimento permite avaliar a performance funcional dos membros inferiores em condições normais e anormais, e é um instrumento valioso para um diagnóstico correto (Sousa, 2010).

Simplificando, a fadiga resultante do trabalho físico é um dos fatores de risco das LME (Ma, Zhang, et al., 2009b). Os fatores responsáveis pela FBF encontram-se relacionados com os mecanismos indutores das LME. Ambientes de trabalho com tarefas que envolvam esforço energético, movimentos repetitivos (B.A. Silverstein, L.J. Fine, & T.J. Armstrong, 1986), postura inadequada (P. Madeleine, Lundager, Voigt, & Arendt-Nielsen, 1999) e temperaturas extremas, frio (J. Oksa, 2002; J. Oksa, M. B. Ducharme, & H. Rintamäki, 2002) e calor (Chad & Brown, 1995) levam a um nível perigoso de fadiga muscular, tornando-se assim um fator de risco das LME.

Nas fases posteriores de uma atividade de resistência com duração de duas a quatro horas, a fadiga muscular que ocorre pode envolver uma acumulação de radicais livres no músculo, assim como distúrbios musculares, desequilíbrio eletrolítico ou o esgotamento de glicogénio nos músculos (Westerblad & Allen, 2003). Correr uma maratona ou trabalhar numa indústria realizando movimentos repetitivos são exemplos deste tipo de atividade.

Com o aumento da intensidade do exercício inicia-se a ativação sequencial de unidades motoras visando realizar uma determinada tarefa. O recrutamento de unidades motoras ocorre pela seguinte ordem: fibras do tipo I, fibras tipo IIa e fibras do tipo IIx (Sale, 1986).

As fibras do tipo I são dependentes do fornecimento contínuo de sangue para proporcionar o oxigénio necessário para a formação de Trifosfato de Adenosina (ATP), a partir de hidratos de carbono e gorduras (Sale, 1986).

As fibras tipo IIa são recrutadas em adição às fibras tipo I (Sale, 1986). Estas fibras de contração rápida são ricas em mitocôndrias, assim como as fibras tipo I, sendo também dependentes de oxigênio para o desenvolvimento da tensão muscular. Estas também têm capacidade de produzir ATP pela via anaeróbia glicólise. Caso o fornecimento de oxigênio para este tipo de fibra diminua ou a sua capacidade para utilizar oxigênio reduza (devido ao baixo número de mitocôndrias), o desenvolvimento de tensão muscular cairá, requerendo o recrutamento de fibras tipo IIx para manter a tensão muscular. As fibras tipo IIx são fibras musculares rápidas com um baixo número de mitocôndrias, podendo gerar grande tensão através de fontes anaeróbicas de energia; contudo causa fadiga rapidamente. São recrutadas, em adição às fibras tipo I e IIa, o que torna exercício ou tarefas pesadas dependentes da sua capacidade de se desenvolver a tensão muscular (Sejersted & Sjøgaard, 2000). Com o recrutamento sequencial das unidades motoras, o fornecimento de ATP necessário para o desenvolvimento de tensão muscular torna-se mais dependente do metabolismo anaeróbico (Sale, 1986). Desta forma, a fadiga é específica para o tipo de tarefa realizada, variando as suas causas e comportamentos em função de como é induzida (Silva et al., 2006).

Segundo Bill's (1934) a fadiga pode distinguir-se em três aspetos: fadiga fisiológica (redução da capacidade física), fadiga objetiva (redução do trabalho) e fadiga percecionada (sensação de cansaço). Seguindo a proposta deste autor, a maioria das definições têm sido agrupadas em três níveis de resposta à fadiga, nomeadamente mudanças corporais (Bigland-Ritchie, 1992), alterações no desempenho (Mital, Foononi-Fard & Brown, 1994) e alterações da percepção (Wessely, Hotopf, & Sharpe, 1998) em que cada um destes níveis está associado a um método específico de avaliação.

Existem alguns indicadores fisiológicos de manifestação da fadiga que podem ser usados, tais como a atividade muscular (Malmqvist et al., 1981 cit in (González Gutiérrez et al., 2005), pressão arterial e frequência cardíaca (Byström, Mathiassen, & Fransson-Hall, 1991), consumo de oxigênio (Gamberale, 1972), atividade cerebral (Torsvall & Akerstedt, 1987) e níveis de melatonina (Akerstedt, Gillberg & Wetterberg, 1982).

2.1.2.1 Métodos de avaliação da fadiga muscular

A fadiga muscular pode ser avaliada direta ou indiretamente. A avaliação direta da fadiga é obtida através da medição da força ou da potência em resposta a uma contração máxima voluntária ou à estimulação tetânica elétrica (Nina K, 1997). A base para este tipo de avaliações diretas é o equipamento para a medição de força e condições de teste fiáveis e reprodutíveis (Nina K, 1997). Maioritariamente este tipo de avaliação é difícil de aplicar, sendo necessário recorrer a métodos indiretos, tais como a *twitch interpolation*, a avaliação do tempo de resistência, a eletromiografia (Nina K, 1997), a redução na força das contrações provocada pela estimulação de alta frequência do músculo, a diminuição do contração voluntária máxima (Chaffin et al., 2006), a medição do gasto energético (Powers & Howley, 2003) e métodos de auto-relato para avaliar a fadiga percecionada pelos trabalhadores.

2.1.2.1.1 Eletromiografia

Em vários estudos realizados a fadiga muscular tem sido avaliada através da eletromiografia (Al-Mulla, 2012; Kilby & Prasad, 2013; Sakurai et al., 2010; Soo et al., 2009; Sundelin & Hagberg, 1992).

Quando uma unidade motora é ativada, as fibras musculares que a constituem geram impulsos elétricos que estimulam a contração. O registo dos padrões de potenciais de ação é designado de eletromiografia (EMG) (Soderberg & Knutson, 2000).

Este método de medição da atividade muscular avalia em tempo real e regista o fenómeno elétrico que está eventualmente relacionado com a contração muscular (Soderberg and Knutson 2000). Embora o impulso elétrico gerado por cada fibra seja de pequena amplitude ($< 100 \mu\text{V}$), várias fibras que gerem e conduzam em simultâneo os impulsos elétricos, induzem na pele que os recobre a geração de correntes elétricas suficientemente grandes para serem detetadas por eletrodos cutâneos (Soderberg & Knutson, 2000).

A realização de trabalho máximo de curta duração ou de trabalho repetitivo submáximo acabará eventualmente por induzir fadiga muscular (Barbara A Silverstein et al., 1986; Ting, 2007). Este fenómeno pode ser estimado de forma quantitativa (Schwid et al., 1999), dado que a sua ocorrência pode provocar a diminuição gradual da força máxima gerada pelo músculo durante uma contração muscular (Zwarts, Bleijenberg, & Van Engelen, 2008).

A manifestação de fadiga muscular é habitualmente avaliada pelos seguintes parâmetros: amplitude de sinal, velocidade de condução da fibra muscular (MFCV), conteúdo de frequência do sinal (Al-Mulla, 2012), média e frequência mediana (MDF), *root mean square* (RMS) (Kilby & Prasad, 2013), percentagem de atividade máxima EMG (%MEMG) (E. Sormunen, Oksa, Pienimäki, Rissanen, & Rintamäki, 2006; Erja Sormunen et al., 2009). O RMS, designado na língua portuguesa por valor eficaz (VE), reflete o nível de atividade fisiológica na unidade motora durante uma contração (De Luca, 1997; Fukuda et al., 2010), enquanto a MDF é menos sensível ao ruído e às alterações do sinal, refletindo as alterações fisiológicas que ocorrem no músculo durante contrações, tais como a velocidade de condução das fibras musculares (De Luca, 1997). Assim estes são dois parâmetros frequentemente selecionados como indicadores de fadiga⁶ (De Luca, 1997; Fukuda et al., 2010; Ipate, 2011).

No processamento do sinal eletromiográfico, a determinação do conteúdo de frequência através da *Transformada de Fourier* é um dos principais aspetos da análise do mesmo (Kilby & Prasad, 2013).

Num estudo realizado por (Sundelin & Hagberg, 1992) foi identificado um aumento de amplitude e uma diminuição do conteúdo de frequência na análise do sinal EMG no músculo trapézio, enquanto num outro (Bosch, De Looze, Kingma, Visser, & Van Dieen, 2009) verificou-se uma diminuição significativa na média de frequência na realização de uma tarefa de baixa intensidade e repetitiva.

Existem alguns fatores que podem influenciar o sinal EMG, tais como a condução da fibra muscular, a temperatura corporal, a posição do eletrodo em relação ao músculo, ou o ruído ambiente (Fukuda et al., 2010).

2.1.3 Ambiente térmico frio

Um ambiente térmico frio é aquele em que o balanço térmico, calculado na base das trocas de calor por radiação e convecção, é negativo (Miguel, 2010), sendo descrito por condições ambientais que levam à ocorrência de stresse térmico (Parsons, 2003).

2.1.3.1 Balanço térmico e parâmetros básicos do ambiente térmico

A homeotermia (manutenção da temperatura interna do corpo) é afetada pela exposição a ambientes térmicos, sendo obtida por trocas térmicas que dependem de fatores ambientais e individuais. O fluxo de calor produzido no organismo é veiculado para a pele e posteriormente é trocado com o ambiente através de quatro processos físicos: convecção (C), radiação (R), evaporação (E) e condução (K), segundo a equação 1 (Miguel, 2010).

⁶ www.biopac.com

$$M = \pm K \pm C \pm R \pm E$$

Equação 1: Equação de cálculo do fluxo calor.

O transporte de calor no interior do corpo é proporcional à diferença de temperatura entre o núcleo do corpo e a pele e a um coeficiente que corresponde à condutância fisiológica do corpo humano (Miguel, 2010).

A convecção consiste na transmissão de calor da pele para o fluido ambiente e vice-versa. A condução é o processo de transmissão de calor devido ao contacto entre os corpos. No Homem verifica-se nos contactos entre as superfícies do corpo com um outro elemento sólido (por exemplo entre os pés e o chão/calçado, entre as mãos e planos de trabalho, entre nádegas e assentos, entre outros) (Miguel, 2010).

A perda de calor do corpo para o ambiente ocorre quando a temperatura ambiental é inferior à da pele do organismo, ocorrendo assim uma perda de calor do corpo para o ambiente por efeito de condução e de convecção (Miguel, 2010).

A radiação consiste na troca térmica através do meio ambiente por ondas eletromagnéticas. A evaporação transporta o calor latente, sendo uma das formas de perda de calor do organismo. Este processo físico tem lugar ao nível do aparelho respiratório e da pele e ocorre sempre que os outros processos de transmissão de calor são insuficientes para compensar o equilíbrio metabólico (Miguel, 2010).

A temperatura do ar (tar), da temperatura média radiante (tr), da humidade relativa (rh) e da velocidade do ar (va), são as variáveis ambientais básicas que afetam a resposta humana a ambientes térmicos (Parsons, 2003). A interação do corpo humano com o ambiente térmico depende essencialmente destas variáveis básicas e de duas individuais: o vestuário (Icl) e o nível de atividade (M) (Havenith, Holmér, & Parsons, 2002). Estas seis variáveis formam os parâmetros básicos que definem o ambiente térmico (Parsons, 2003).

2.1.3.2 Termorregulação humana

As grandes variações na temperatura interna do corpo são impedidas pela termorregulação, para que os sistemas vitais possam funcionar de forma adequada (Parsons, 2003).

Num contexto normal de saúde e de conforto térmico, a temperatura interna do corpo humano mantém-se aproximadamente constante (37°C), podendo variar entre os 36°C e os 37,5°C em indivíduos saudáveis. O centro de regulação térmica do corpo humano, o hipotálamo, localiza-se na base do cérebro (Parsons, 2003).

Os termorreceptores, sensores do frio e do calor, recebem a informação necessária para o hipotálamo efetuar o controlo de temperatura (Olesen, 1982), sendo influenciados pela temperatura e pela sua variação (McIntyre, 1980). Estes encontram-se dispersos pela superfície da pele, e provavelmente noutras partes do corpo como os músculos e espinal-medula (Parsons, 2003).

Estes sensores transmitem a informação ao hipotálamo através de impulsos nervosos. O processamento da informação ativa as reações fisiológicas que tendem a manter a temperatura interna do corpo aproximadamente constante (McIntyre, 1980). Os termorreceptores de frio reagem a variações negativas de temperatura na pele superiores a 0,004°C/s (Olesen, 1982).

O hipotálamo anterior é responsável pela termorregulação quando o corpo se encontra sobreaquecido, emitindo impulsos nervosos que são responsáveis pela ativação dos mecanismos de perda de calor. O hipotálamo posterior atua como mecanismo de defesa contra o frio, desencadeando ações como a vasoconstrição e os tremores (Olesen, 1982).

A exposição a ambientes térmicos frios ou quentes desencadeia uma resposta inicial no corpo, a atividade vasomotora. No caso de ambientes frios, essa resposta é representada pela

vasoconstrição, para reduzir as perdas para o ambiente, e pelos tremores musculares (Olesen, 1982). Estas tensões musculares, em ambientes progressivamente mais severos, transformam-se em arrepios que podem triplicar a energia produzida face ao metabolismo basal (Olesen, 1982).

A vasoconstrição é uma contração dos vasos sanguíneos que diminui o fluxo de sangue e consequentemente aumenta a capacidade de isolamento da pele. O fluxo sanguíneo começa por ser reduzido onde a sensação de frio é sentida em primeiro lugar (pés e mãos), para manter a temperatura interna (Sanders & McCormick, 1987). Consequentemente, uma maior quantidade de sangue é distribuída pelos órgãos vitais internos. Uma dessas consequências verifica-se nos rins, em que há uma maior produção de urina. Em ambientes térmicos frios as pessoas urinam com maior frequência (ISO 12894, 2001). No entanto, mesmo com a vasoconstrição verifica-se uma perda de calor por condução através da pele, a qual depende da espessura da camada de gordura superficial (isolamento térmico da pele) (Olesen, 1982).

A vasoconstrição expropria os músculos de oxigénio, responsáveis pela constrição dos vasos sanguíneos. Fortuitamente estes podem ficar cansados, provocando a entrada de sangue desoxigenado e tornando a pele azulada. Esta característica é observável na pele de pessoas expostas a ambientes térmicos frios. Porém, quando este mecanismo vasomotor não consegue manter o equilíbrio térmico, é provocado o tremor muscular pelo sistema termorregulador, que aumenta o metabolismo nos músculos e consequentemente a produção de calor interno (Parsons, 2003).

Esta resposta fisiológica consiste numa ativação muscular intrínseca assíncrona que progride para a ativação sincronizada da maioria dos músculos que se contraem uns contra os outros, sendo um reflexo involuntário que pode aumentar o metabolismo (Parsons, 2003).

Os tremores musculares terminam quando é atingida a condição de neutralidade térmica (Sanders & McCormick, 1987), em que estes são mais dependentes da temperatura interna do que da temperatura cutânea. O rácio de como as alterações das temperaturas interna e cutânea afetam aos tremores musculares é de 4:1 (Van Someren, Raymann, Scherder, Daanen, & Swaab, 2002). Para um nível moderado de arrefecimento, estes são ativados e desativados ao longo da exposição (intermitentes), mas para situações mais adversas estes mantêm-se continuamente durante um determinado período de tempo (Parsons, 2003).

Um outro mecanismo de proteção contra o frio é a piloereção, que tem pouca relevância no ser humano devido à reduzida quantidade de pêlos que cobre a superfície cutânea e pelo facto de esta se encontrar habitualmente coberta com vestuário (Parsons, 2003).

Quando a exposição a um ambiente térmico desencadeia a ativação de mecanismos para manter a temperatura interna dentro dos limites normais, o Homem encontra-se sob sobrecargas térmicas (Mondelo & Universal, 1999).

Apenas são relevantes para ambientes térmicos frios os indicadores fisiológicos: temperatura interna (t_{core}) e a temperatura cutânea (ISO 9886, 2004).

A temperatura interna apresenta algumas variações devido a metabolismos locais, concentração de redes vasculares e a alterações locais do fluxo sanguíneo (ISO 9886, 2004).

Segundo Stein (1994) o género feminino apresenta valores de temperatura ligeiramente superiores ao género masculino, em que podem registar valores até 0,8°C superiores na segunda metade do ciclo menstrual.

Perante uma situação de exposição ao frio, a temperatura interna diminui, em que se consideram valores aceitáveis até 35,5°C. Quando é atingido o valor de 33,0°C são iniciados distúrbios cardíacos. Valores inferiores a este limite são considerados perigosos (Bridger, 1995). O sistema de regulação não funciona a partir do valor 29,0 °C (Bridger, 1995). Entre as mãos e os órgãos centrais pode haver uma diferença de temperatura de 6 °C, sem que ocorram danos no tecido ou consumo extra de energia (Wheeler, 2006).

O sistema autónomo de regulação térmica do sistema nervoso central tem em conta a temperatura da pele. Este parâmetro fisiológico constitui um critério relevante na caracterização da sensação térmica do corpo humano (ISO 9886, 2004).

A temperatura da pele depende das trocas térmicas por condução, convecção, radiação e evaporação na sua superfície, da variação do fluxo sanguíneo e temperatura do sangue arterial (ISO 9886, 2004).

As variações de temperatura na pele são mais significativas em ambientes térmicos frios (ISO 9886, 2004).

O limiar da dor para este parâmetro fisiológico na exposição a ambientes é de 15°C, particularmente nos dedos das mãos e dos pés (ISO 9886, 2004).

Na Tabela 1 encontram-se descritos os limites recomendados pela ISO 9886:2004. Estes valores limite foram estabelecidos tendo em consideração os riscos para a saúde estudados num indivíduo adulto, fisicamente apto, em bom estado de saúde, e a pertinência de diferenciadas técnicas para detetar estes riscos (ISO 9886, 2004).

Tabela 1: Valores limite dos parâmetros fisiológicos de tensão térmica.

Indicador fisiológico	Ambiente frio
Temperatura interna	36°C – apenas são pertinentes a temperatura esofágica, rectal e abdominal.
	<36°C – se a temperatura cutânea for monitorizada continuamente
Temperatura cutânea	15°C – particularmente na cara, dedos dos pés e mãos.

Fonte: ISO 9886, 2004

A tolerância do Homem a ambientes extremos pode ser condicionada por vários fatores, em que alguns são de difícil identificação e avaliação (Mondelo, 1999). Realça-se os fatores individuais como a idade (Inoue and Shibasaki, 1996), capacidade aeróbica (Åstrand, 2003), adiposidade (Mondelo, 1999), patologias (Kovats & Hajat, 2008), vestuário (Mondelo, 1999), medicação (OSHS, 1997), alimentação (Sawka et al., 2007), aclimação (Pandolf & Burr, 2002), género (Frisancho, 1993); fatores comportamentais (Schlader, Prange, Mickleborough, & Stager, 2009), fatores ambientais (Luber & Hess, 2007) e fatores ocupacionais (Kaynakli, Unver, & Kilic, 2003).

2.1.3.3 Índices de stresse térmico

Existem indicadores que permitem analisar ambientes térmicos. Estes são parâmetros determinantes ponderados sob a forma de índices empíricos simples - índices de stresse que estabelecem os limites de segurança no trabalho (Parsons, 2003). Um índice de stresse térmico é um valor único que integra os efeitos dos parâmetros essenciais em qualquer ambiente térmico e irão variar com a tensão térmica experimentada pelo indivíduo exposto (Parsons, 2003).

Dado que a avaliação da exposição a stresse térmico através da determinação de indicadores fisiológicos implica determinadas dificuldades, torna-se necessário a adoção de uma metodologia preventiva com base em índices de stresse térmico (Holmér, 2009).

A exposição dos trabalhadores ao frio pode ocorrer em trabalhos desenvolvidos no exterior e em diferentes tipos de atividades desenvolvidas no interior, como por exemplo a indústria alimentar (Holmér, 2009).

Na Tabela 2 apresentam-se os métodos propostos pela sociedade científica para caracterizar as várias formas de arrefecimento, nomeadamente o Índice do Isolamento Térmico do Vestuário Requerido (IREQ) para o arrefecimento global do corpo, e o Índice de Arrefecimento pelo Vento (WCI) para o arrefecimento pelo vento.

Tabela 2: Metodologias para avaliação do stresse térmico devido à exposição ao frio.

Arrefecimento Global do Corpo		Método de Avaliação da Exposição ao frio
		Isolamento Térmico do Vestuário Requerido (IREQ)
Arrefecimento Local	Arrefecimento das extremidades	Modelos de Previsão do Arrefecimento das Mãos
	Arrefecimento pelo vento	Índice de Arrefecimento pelo Vento (WCI)
	Arrefecimento por Contacto	Modelos e equações de previsão da temperatura cutânea
	Arrefecimento do aparelho respiratório	Determinação da temperatura do ar e metabolismo

Fonte: (Holmér, 2000)

2.1.4 Relação entre fadiga muscular e a exposição a ambientes térmicos frios

Os locais de trabalho com ambientes termicamente frios ($<10^{\circ}\text{C}$), trabalho manual monótono e repetitividade são a realidade laboral dos trabalhadores da Indústria Alimentar (Riihimäki et al., 2004).

Na existência de um ambiente térmico, os termorreceptores da pele conferem o diferencial de temperatura entre o corpo e o ambiente e informam o hipotálamo. Este inicia o processo de vasoconstrição para diminuir a quantidade de sangue que percorre os vasos superficiais, aumentando a capacidade de isolamento da pele. Neste caso a vasoconstrição e os tremores musculares são os mecanismos fundamentais para reduzir a perda de calor para o ambiente (Parsons, 2003).

A exposição a ambientes térmicos frios pode reduzir o desempenho muscular (Bergh & Ekblom, 1979) e provocar deficiências no funcionamento muscular (Davies & Young, 1983; Faulkner, Zerba, & Brooks, 1990). Assim, os efeitos da exposição ao frio e da fadiga muscular nas propriedades funcionais dos músculos revelaram-se semelhantes, como a diminuição das taxas de relaxamento, a força máxima isométrica, a produção de energia e velocidade de contração muscular (Bigland-Ritchie, 1992; De Ruyter & De Haan, 2001).

(Juha Oksa, Michel B Ducharme, & Hannu Rintamäki, 2002) investigaram o efeito cumulativo da repetitividade e da exposição ao frio na atividade muscular do antebraço e o seu desempenho muscular, tendo exposto que o arrefecimento do músculo em simultâneo com um baixo nível de repetitividade, a um nível de 10% de contração voluntária máxima, produz significativamente mais fadiga e atividade muscular do que o trabalho repetitivo por si só em condições termicamente neutras. Também assumiram que essas alterações podem conceber um maior risco de lesões, particularmente em indústrias onde existam condições de trabalho repetitivo e exposição ao frio. Um estudo recente realizado por (Erja Sormunen et al., 2009) para compreender a deterioração da função neuromuscular induzida pelo frio demonstrou que a tensão muscular nos extensores do membro superior e a ativação muscular é maior a 4°C do que a 19°C . As reações a este fator incluem o desconforto, dor e redução manual e cognitiva (Jay & Kenny, 2010).

2.2 Enquadramento Legal e Normativo

A legislação nacional relativa ao ambiente térmico em contexto laboral, através da Portaria n.º 987/93 de 6 de Outubro, Decreto-Lei n.º 243/86 de 20 de Agosto e Portaria n.º 53/71 de 3 de Fevereiro (alterada pela Portaria n.º 702/80 de 22 de Setembro) recomenda que a temperatura e a humidade sejam adequadas ao organismo humano, ou seja, que estejam dentro dos limites convenientes para evitar danos à saúde dos trabalhadores, impondo deste modo à manutenção das condições de conforto térmico nos locais de trabalho.

Em Portugal a legislação relativa a esta temática é pouco específica, uma vez que apenas o Regulamento Geral de Segurança do Trabalho nos estabelecimentos comerciais de escritório e

serviços (Decreto-Lei n.º 243/86 de 20 de Agosto) recomenda valores de temperatura e humidade para os locais de trabalho, porém não é aplicável à indústria.

Na Tabela 3 encontram-se descritos os artigos e consequentes alíneas dos diplomas, a nível nacional, referentes às condições de temperatura e humidade aplicáveis a estabelecimentos industriais.

Na ausência de legislação nacional específica são seguidas as orientações fixadas por normas internacionais aplicáveis a ambientes térmicos frios (Tabela 4).

O recurso à estrutura de uma instituição internacional, a *International Organization for Standardization* (ISO), demonstra os esforços da parte da comunidade científica para otimizar as metodologias no âmbito da avaliação de ambientes térmicos, fundamentalmente em ambientes laborais.

Para além desta instituição internacional, existem outros organismos de normalização no âmbito dos ambientes térmicos, como por exemplo a *American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers* (ASHRAE), a *American Conference of Governmental Industrial Hygienists* (ACGIH), a *American Industrial Hygiene Association* (AIHA), o *Institut National de Recherche et de Sécurité* (INRS), a *Occupational Safety and Health Administration* (OSHA), o *National Institute for Occupational Safety and Health* (NIOSH), e a Agência Europeia para a Segurança e Saúde no Trabalho (OSHA:EU).

Tabela 3: Legislação nacional aplicável.

Diploma	Descrição
Portaria n.º 53/71 de 3 de Fevereiro - Regulamento Geral de Segurança e Higiene do Trabalho nos Estabelecimentos Industriais⁷	<p>Artigo 24.º (Temperatura e Humidade)</p> <p>1 – As condições de temperatura e humidade dos locais de trabalho devem ser mantidas dentro de limites convenientes para evitar prejuízos à saúde dos trabalhadores</p> <p>2 – Nas indústrias em que os trabalhadores estejam expostos a temperaturas extremamente altas ou baixas devem existir câmaras de transição para que aqueles trabalhadores possam arrefecer-se ou aquecer-se gradualmente até à temperatura ambiente.</p>
Portaria n.º 987/93, de 6 de Outubro⁸	<p>Artigo 7.º</p> <p>1 – A temperatura e a humidade dos locais de trabalho devem ser adequadas ao organismo humano, levados em conta os métodos de trabalho e os condicionalismos físicos impostos aos trabalhadores.</p> <p>2 – A temperatura e a humidade das salas de convívio destinadas ao pessoal, bem como das instalações sanitárias, cantinas e instalações de primeiros socorros, devem estar de acordo com os fins específicos desses locais.</p> <p>3 – As janelas, as clarabóias e as paredes envidraçadas não devem permitir uma excessiva exposição ao sol, tendo em conta o tipo de trabalho e a natureza do local de trabalho.</p> <p>4 – Sempre que necessário, devem ser colocados resguardos para proteger os trabalhadores contra radiações intensas de calor provocadas por tubagens, radiadores, sistemas de aquecimento ou quaisquer outras fontes nocivas de calor.</p>

⁷ <http://dre.pt/pdf1sdip/1971/02/02800/00980118.PDF>

⁸ <http://dre.pt/pdf1sdip/1993/10/234b00/55965599.PDF>

Tabela 4: Normalização internacional aplicável a Ambientes Térmicos Frios e Moderados.

Normas de enquadramento	ISO 11399:1995, “ <i>Ergonomics of the thermal environment – Principles and application of relevant International Standards</i> ”
	ISO 13731:2001, “ <i>Ergonomics of the thermal environment – Vocabulary and symbols</i> ”
Normas de apoio	ISO 7726: 1998, “ <i>Ergonomics of the thermal environment – Instruments for measuring physical quantities</i> ”
	ISO 8996: 2004, “ <i>Ergonomics – Determination of the metabolic heat production</i> ”
	ISO 9920: 2007, “ <i>Ergonomics of the Thermal Environment - Estimation of the Thermal Insulation and Evaporative Resistance of a Clothing Ensemble</i> ”
	ISO 12894: 2001, “ <i>Ergonomics of the thermal environment – Medical supervision of individuals exposed to extreme hot or cold environments</i> ”
	ISO/TR 11079:2007, “ <i>Evaluation of Cold Environments – Determination of Required Clothing Insulation (IREQ)</i> ”
Normas de avaliação – Ambientes Térmicos Frios	ISO 9886: 2004, “ <i>Evaluation of thermal strain by physiological measurements</i> ”
	ISO 13732-3: 2005, “ <i>Ergonomics of the thermal environment -- Methods for the assessment of human responses to contact with surfaces - Part 3: Cold surfaces</i> ”
	ISO 7730: 2005, “ <i>Moderate Thermal Environment – Determination of the PMV and PPD Indices and Specification of the Conditions for Thermal Comfort</i> ”
Normas de avaliação – Ambientes Térmicos Moderados	ISO 10551:1995, “ <i>Ergonomics of the thermal environment – Assessment of the influence of the thermal environment using subjective judgments scales</i> ”
	ISO 9886: 2004, “ <i>Evaluation of thermal strain by physiological measurements</i> ”
	Edition, International Organization for Standardization (ISO), Geneve, Switzerland.
	ISO/TS 13732-2: 2001, “ <i>Ergonomics of the thermal environment-Methods for the assessment of human responses to contact with surfaces-Part 2: Human contact with surfaces at moderate temperature</i> ”
	ISO 14505-3: 2006, “ <i>Ergonomics of the thermal environment – Evaluation of thermal environments in vehicles - Part 3: Evaluation of thermal comfort using human subjects</i> ”
Aplicações	ISO/TS 14415: 2005, “ <i>Ergonomics of the thermal environment – Application of International Standards to people with special requirements</i> ”
	ISO 15265: 2004, “ <i>Ergonomics of the thermal environment – Risk assessment strategy for the prevention of stress or discomfort in thermal working conditions</i> ”

Fonte: International Organization for Standardization ⁹

2.3 Tecnologias disponíveis

A fadiga muscular pode ser avaliada através da eletromiografia (Al-Mulla, 2012; Kilby & Prasad, 2013; Sakurai et al., 2010; Soo et al., 2009; Sundelin & Hagberg, 1992).

A deteção, amplificação e registo de correntes elétricas na pele produzidas pelos músculos esqueléticos denomina-se eletromiografia de superfície, e o registo obtido designa-se eletromiograma (Soderberg & Knutson, 2000).

A eletromiografia de superfície (sEMG) é a técnica geralmente selecionada pelos investigadores, dado à sua característica não-invasiva (Roberto Merletti, Holobar, & Farina, 2008; R. Merletti, Rainoldi, & Farina, 2005), sendo utilizada para avaliar potenciais de ação através da colocação de elétrodos sobre a pele que recobre um músculo ou um grupo de músculos (Drost, Stegeman, van Engelen, & Zwarts, 2006). Deste modo é considerada uma ferramenta valiosa na indicação de fadiga muscular em estudos ocupacionais (Kilby & Prasad, 2013; E. Sormunen et al., 2006; Erja Sormunen et al., 2009). A configuração básica de sEMG tem um único canal, que proporciona apenas a informação de uma pequena área de músculo, sendo ainda incapaz de indagar a distribuição espacial da atividade muscular (Pascal Madeleine, Leclerc, Arendt-Nielsen, Ravier, & Farina, 2006).

Além da EMG de superfície, atualmente também pode ser utilizada outra forma de recolher os sinais EMG, nomeadamente EMG de profundidade. Este é um método invasivo e que se baseia na colocação de elétrodos no interior do músculo (Soderberg & Knutson, 2000).

⁹ <http://www.iso.org/iso/home/standards.htm>

Existe uma nova técnica de sistemas de matriz bidimensional, a eletromiografia de superfície de alta densidade (HD-EMG), que tem sido amplamente aplicada nesta área de estudo (Barbero et al., 2011; Hong, Li, & Fong, 2008; Pascal Madeleine et al., 2006; Troiano et al., 2008). Esta técnica proporciona a possibilidade de investigar a distribuição espacial da atividade muscular, permitindo também a investigação visual pelo mapeamento topográfico da atividade muscular (Pascal Madeleine et al., 2006).

Existem outros métodos de avaliação de fadiga muscular selecionados com frequência pelos investigadores, como a medição do gasto energético (Powers & Howley, 2003). Em geral existem duas técnicas que são empregadas na medição da energia humana despendida: calorimetria direta e calorimetria indireta.

A calorimetria direta é considerada uma técnica precisa para a medição da taxa metabólica, onde ocorre a medição direta da produção de calor como indicador da taxa metabólica. Esta técnica envolve a colocação de uma pessoa numa câmara, designada por calorímetro, isolada do ambiente. O calor corporal da pessoa eleva a temperatura da água que circula em torno do calorímetro. Por conseguinte, através da medição da mudança de temperatura por unidade de tempo pode-se calcular a quantidade de produção de calor que é perdido pela evaporação de água na pele e pelas vias respiratórias. Esta perda de calor é medida e adicionada para o total de calor captado pela água circulante para se obter uma estimativa da taxa de utilização de energia pela pessoa (Brooks, Fahey & Baldwin, 2005).

Contudo, esta técnica apresenta desvantagens, como por exemplo a construção do calorímetro (que é dispendioso) sendo também complicada a medição da taxa metabólica, dado que o próprio ergómetro pode produzir calor. Mediante isto pode-se recorrer à calorimetria indireta, a qual não envolve a medição direta da produção de calor; porém proporciona a medição do consumo de oxigénio como uma estimativa da taxa metabólica (Powers & Howley, 2003).

Existe uma relação direta entre o VO_2 e a quantidade de calor produzido no corpo, dado que medir o consumo de oxigénio fornece uma estimativa da taxa metabólica (Brooks, Fahey & Baldwin, 2005; Hopkins, 1982). Para converter a quantidade de oxigénio consumido em equivalentes de calor é necessário conhecer o tipo de nutriente (por exemplo, hidratos de carbono, gordura ou proteína) que foi metabolizado. Embora não seja exato o gasto energético durante o exercício, é muitas vezes estimado ser aproximadamente cinco quilocalorias (kcal) por litro de oxigénio consumido (Åstrand, 2003). Por conseguinte, uma pessoa que consuma dois litros de oxigénio por minuto consumiria cerca de dez kcal de energia por minuto.

Para a caracterização da temperatura interna do corpo existem várias técnicas de medição que podem ser utilizadas. Não obstante, as medições só podem ser realizadas quando existir o consentimento informado do indivíduo alvo de avaliação, e a segurança de que as medições não apresentam risco para o indivíduo tendo em consideração os códigos de ética gerais ou específicos (ISO 9886, 2004).

Não existe um local de medição representativo da temperatura interna do corpo, sendo que o valor das medições varia tendo em atenção diferentes locais avaliados (Campbell, 2008).

A avaliação deste parâmetro terá como objetivo medir a temperatura do sangue que irriga o cérebro, pois será a mais adequada para avaliar a sobrecarga térmica a que um indivíduo se encontra sujeito, dado que a temperatura do sangue que irriga o cérebro influencia o hipotálamo (ISO 9886, 2004).

As técnicas de medição que permitem avaliar a temperatura interna do corpo são as que medem as temperaturas oral, esofágica, timpânica, subclávio, intra-abdominal, rectal, da vagina e da urina (Parsons, 2003; ISO 9886, 2004; Wheeler, 2006; Campbell, 2008). Destaca-se as que medem as temperaturas rectal e oral, pois são as mais utilizadas dado que são praticáveis (Parson 2003).

A introdução dos sensores térmicos ingeríveis (STI) ou cápsula de telemetria surgiu da dificuldade de implementação dos outros métodos, permitindo a monitorização e o registo da temperatura intra-abdominal, sem as limitações técnicas dos outros métodos (Ribeiro, 2010).

A temperatura da pele é um critério relevante para a caracterização da sensação térmica do corpo humano, uma vez que o sistema autónomo de regulação térmica do sistema nervoso central a tem em consideração (ISO 9886, 2004). Este parâmetro pode ser avaliado localmente (medida num ponto específico da superfície do corpo, sendo representativo de uma região restrita) ou estimado por ponderação das temperaturas medidas num conjunto de locais (temperatura média da pele, t_{sk}) (Kosaka et al., 2004).

Quando avaliada localmente, poderá ser utilizado um termómetro de infravermelhos sempre que possível, fornecendo a temperatura média da área da pele que é intercetada pelo sensor. Uma outra forma será a avaliação da temperatura da pele através do contacto, fixando sensores na superfície. Se a avaliação é efetuada em vários pontos, a t_{sk} é premeditada calculando cada valor local obtido através de um coeficiente relacionado com a área correspondente. (Kosaka et al., 2004), em que este parâmetro fisiológico pode ser calculado através da equação 2 (ISO 9886, 2004):

$$\bar{t}_{sk} = \sum_i k_i t_{sk,i}$$

Equação 2: Equação de cálculo da temperatura média da pele.

em que k_i e $t_{sk,i}$ representam, respetivamente, o coeficiente de ponderação e a temperatura da pele no ponto de medição i .

A fadiga percecionada pelo trabalhador encontra-se relacionada com o trabalho que está a ser executado e em que as tarefas específicas diferem no tipo de exigências que impõem ao trabalhador. Esta é naturalmente dependente da soma de todas as circunstâncias internas e externas, como as exigências do trabalho físico e mental e a hora do dia em que o trabalho é realizado: estas parecem ser as que mais contribuem para a fadiga percecionada (E. Åhsberg & universitet, 1998).

A intensidade do exercício ou tarefa é um conceito relacionado com a fadiga, contribuindo para compreender a complexidade do nosso organismo quando se averigua a aplicação de força. Existem vários métodos de autorrelato para avaliar a carga física ou o desconforto corporal, tais como “*body map*” (Corlett & Bishop, 1976), escalas de avaliação (Borg, 1998), questionários ou entrevistas (Wiktorin, Karlqvist, & Winkel, 1993) e listas de verificação (Corlett & Clark, 1995). A fadiga muscular é um dos problemas mais comuns nos países desenvolvidos, principalmente na indústria (G. Lewis & S. Wessely, 1992), tendo sido desenvolvidas escalas psicofísicas para avaliar a carga de trabalho sentida subjetivamente pelo indivíduo durante a realização de um exercício, trabalho ou esforço. Várias são as escalas de avaliação desenvolvidas por Borg que correlacionam as respostas fisiológicas e a carga física, destacando-se entre elas a *Ratings of Perceived Exertion* - RPE (Borg, 1970, 1998) e a Escala Category Ratio - CR10 (Borg, 1998). A escala original de Borg, RPE, pretendia refletir a relação entre o esforço percecionado e o ritmo cardíaco, demonstrando uma relação linear frequência cardíaca - intensidade do exercício. Um outro instrumento é a *Fatigue Severity Scale* (FSS) (Lichstein, Means, Noe & Aguillard 1997) que fornece um score da severidade da fadiga através de nove itens.

Em contexto clínico há outros instrumentos utilizados, que são o *Multidimensional Fatigue Inventory* (MFI; Smets, Garssen, Bonke & De Haes, 1995, 1996) e o questionário FACES (Shapiro et al., 2002).

Em contexto ocupacional, (Elizabeth Ahsberg, Gamberale, & Kjellberg, 1997) desenvolveram o *Swedish Occupational Fatigue Inventory* (SOFI), um instrumento multidimensional baseado no RPE para a avaliação do trabalho, relacionado com a fadiga, com base em autorrelatos. Consiste

essencialmente em cinco aspetos: falta de motivação, sonolência, desconforto físico, falta de energia e esforço físico (Tabela 5).

Tabela 5: Descrição das 5 dimensões da fadiga

Dimensão	Descrição
Falta de energia	Esta dimensão descreve sentimentos gerais de diminuição de força.
Esforço físico	Esta dimensão descreve todas as sensações corporais que podem resultar de trabalho dinâmico e, em certa medida, representar um sinal de exaustão metabólica.
Desconforto físico	Esta dimensão descreve sensações corporais locais que podem resultar de trabalho estático ou isométrico.
Falta de motivação	Esta dimensão descreve sentimentos gerais de exclusão ou de entusiasmo.
Sonolência	Esta dimensão descreve sentimentos de sonolência.

Fonte: Åhsberg (1996) e Åhsberg et al (1997).

As cinco dimensões correlacionam-se entre si, sobretudo a falta de energia, que interage com as outras quatro, indicando que esta é a dimensão mais genérica e subjacente da fadiga. Parece existir ainda uma correlação forte entre as outras dimensões, nomeadamente entre a falta de motivação e a sonolência (Elizabeth Åhsberg & Gamberale, 1998). As dimensões esforço físico e desconforto físico podem ser considerados fatores físicos, enquanto falta de motivação e sonolência podem ser consideradas primariamente fatores mentais. Já a falta de energia parece ser um fator físico e mental (Elizabeth Åhsberg & Gamberale, 1998).

De acordo com Åhsberg (1996) e Åhsberg, Gamberale, & Kjellberg, (1997) esta escala psicofísica é usada para mensurar a fadiga como uma percepção de carácter mental ou física. As escalas referidas são ferramentas que possibilitam aos seus utilizadores obter uma estimativa da intensidade de fadiga percebida. Assim é possível identificar que a presença de fadiga muscular poderá afetar a capacidade individual de aplicação de força do trabalhador, e consequentemente a capacidade de trabalho, particularmente em situações onde esta tenha exigências superiores às capacidades fisiológicas do indivíduo.

Segundo a Norma ISO 10551:1995 existem várias escalas de apreciação subjetiva para ambientes térmicos, diferindo quanto à ênfase dada sobre o aspeto em julgamento: perceptivo ou afetivo, global (abrangente todo o ambiente ou organismo) ou localizado, presente ou passado, e imediato ou prolongado ao longo de um período de tempo. Estas também diferem quanto ao objeto do juízo de julgamento: meio ambiente ou pessoa, no todo ou nas suas partes componentes (temperatura, humidade, velocidade do ar, estado térmico do corpo, humidade da pele e respiração), situação permanente ou temporária, condições de clima temperado ou extremo. Os julgamentos feitos pelos indivíduos sobre o seu estado pessoal térmico são mais relevantes do que os julgamentos feitos sobre o seu ambiente térmico, sendo recomendadas por esta norma as escalas jurídicas subjetivas com base no estado térmico do corpo.

3 OBJETIVOS, MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Objetivos da Dissertação

Com o presente estudo tentou-se reunir a informação mais expressiva na área em estudo e obter um contributo para a investigação da fadiga muscular em ambientes térmicos frios. O principal objetivo deste estudo consistiu em avaliar a fadiga muscular ocorrida nos trapézios durante a contração dinâmica dos participantes que simularam a tarefa de embalamento de queijos realizada por trabalhadores de uma indústria do setor alimentar.

Especificamente pretendeu-se:

- Verificar se a exposição a um ambiente térmico frio pode provocar de forma mais acentuada a fadiga muscular;
- Determinar um parâmetro indicador de fadiga muscular – frequência mediana – em condições térmicas neutras e frias no músculo trapézio;
- Comparar a evolução da frequência mediana ao longo da realização de uma determinada tarefa em condições térmicas neutras (20°C, 30% de humidade relativa) e frias (10°C, 30% de humidade relativa);
- Comparar a força exercida pelos participantes antes e após a realização de uma determinada tarefa em diferentes condições térmicas;
- Avaliar a perceção da fadiga muscular em ambientes térmicos neutros e frios, e verificar em qual destes ambientes, os voluntários descrevem uma sintomatologia de maior fadiga;
- Avaliar a perceção das condições térmicas dos participantes num ambiente térmico neutro e frio.

3.2 Materiais e Métodos

Este estudo foi precedido de uma revisão bibliográfica detalhada com o intuito de preparar uma metodologia adequada aos objetivos pré-estabelecidos.

O presente estudo cujo modelo de investigação é do tipo quantitativo, desenho observacional de carácter transversal (de Ketele & Roegiers, 1999), realizou-se no Laboratório de Prevenção de Riscos Ocupacionais e Ambientais (PROA) da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto (FEUP) (F-403, no 4º Piso do Edifício F –Minas e Metalurgia). Para avaliar a fadiga muscular quantitativamente utilizou-se sEMG.

Seguidamente, tendo em consideração o estabelecido, realizaram-se os ensaios para a obtenção dos dados, assim como a interpretação dos resultados obtidos. Perante esta última etapa e as últimas atualizações científicas, apresentaram-se as conclusões e perspetivas de trabalhos futuros. Os dados recolhidos foram inseridos no programa MATLAB 2013ª *Math Works Inc*, USA para o sistema operativo Windows 64 da Microsoft®. Neste foi tratado o sinal da eletromiografia para obter os valores de frequência, média e máximos, consoante o tempo do movimento. Posteriormente procedeu-se à análise e tratamento estatístico através da utilização do programa estatístico *Statistical Package for the Social Sciences* (SPSS) 18.0® para Windows da Microsoft®. A primeira análise dos dados foi uma análise descritiva da caracterização da amostra, tendo sido utilizadas médias, modas, desvios padrão e frequências absolutas.

A Figura 1 demonstra, simplificada, as fases do estudo.

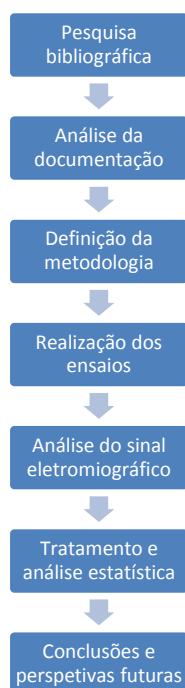


Figura 1: Fases de desenvolvimento do estudo.

3.2.1 Envolvente e/ou contexto

Os trabalhadores de uma indústria do setor alimentar encontram-se expostos a uma temperatura de 10°C no seu ambiente laboral e realizam movimentos repetitivos. Tendo em consideração estes factos, simulou-se uma tarefa de embalagem de queijos típica na câmara climática. Esta localiza-se no laboratório F-403, no 4º Piso do Edifício F – Minas e Metalurgia. Este laboratório possui uma área de 86 m² e uma parede orientada a poente para o exterior, com cinco janelas. Duas destas janelas são do tipo basculante e situam-se no plano superior dessa parede, junto ao teto. O sistema de iluminação artificial geral é composto por 11 luminárias com 1 lâmpada fluorescente cada, sem difusor ou refletor. Para o controlo da luminosidade são utilizados estores metálicos nas duas janelas do tipo basculante.

3.2.2 Equipamentos, protocolos e questionários

3.2.2.1 Amostra

As características pessoais dos indivíduos avaliados, valores médios (\bar{X}) e respetivos desvios padrão (D_p), máximos e mínimos, apresentam-se na Tabela 6.

Tabela 6: Características pessoais dos indivíduos.

Variável	$\bar{X} \pm D_p$	Máximo	Mínimo
Idade (anos)	24,15±3,41	32,00	20,00
Altura (m)	1,64 ± 5,73	1,71	1,51
Peso (kg)	59,20 ± 6,91	73,00	49,00
IMC (kg/m²)	22,07±1,99	26,49	18,95

A amostra foi constituída por 13 mulheres, com idades compreendidas entre os 20 e os 32 anos, em que todos responderam aos questionários perfazendo uma adesão de 100%.

Em relação ao tempo de serviço, ou seja, há quanto exercem uma atividade profissional até data da realização do estudo, verificou-se que o grupo de inquiridos com tempo de serviço mínimo corresponde a 0 meses e o máximo a 24 meses.

Em relação ao grupo de idades da amostra, esta apresentou um valor de 61,5% com idades entre os 20 e 24 anos, de 30,8% entre os 25 e 29 anos, e apenas 7,7% de indivíduos com idade compreendida entre 30 a 34 anos. Esta amostra é constituída por 4 estudantes universitários (30,8%) e 9 indivíduos que exercem uma atividade profissional (69,2%). Estes últimos indivíduos exercem a sua atividade profissional no horário de trabalho das 09-18h. Os restantes não possuem um horário de trabalho, uma vez que são estudantes.

No que diz respeito ao IMC (kg/m^2), segundo a *World Health Organization* - WHO (1995), os sujeitos apresentavam peso normal. A inclusão no estudo foi precedida da avaliação da história clínica, sendo observados os seguintes critérios de inclusão:

- Não ser fumadora;
- Ausência de artrite reumatóide, diabetes, fenómeno de *Raynaud* e qualquer outro tipo de perturbação nas extremidades superiores (E. Sormunen et al., 2006; Erja Sormunen et al., 2009).

Os sujeitos foram informados sobre as especificidades do procedimento experimental, os riscos associados e a possibilidade de sentirem desconforto.

3.2.2.2 Exposição a ambientes térmicos

O presente estudo realizou-se na câmara climática, onde a temperatura foi de 20°C ou 10°C, e a humidade relativa de 30%. Cada participante foi exposto uma vez a um ambiente termicamente neutro (20°C) e a um ambiente térmico frio (10°C). A exposição a esta condição térmica fria corresponde à temperatura ambiente existente na zona de trabalho que se pretende simular. O tempo entre cada exposição às diferentes condições térmicas foi de dois dias (Erja Sormunen et al., 2009). Em ambas as exposições as participantes estavam vestidas com roupa interior, meias, *t-shirt*, *suéter*, calças, casaco e sapato fino o que perfaz um índice de isolamento de vestuário, I_{clo} , de 1,29 clo ($0,20 \text{ m}^2 \cdot ^\circ\text{C/W}$) (ISO, 1995a).

3.2.2.3 Avaliação por eletromiografia de superfície

A atividade muscular durante a simulação da tarefa de embalamento de queijos foi avaliada pela técnica eletromiografia de superfície com o TrignoTM Wireless System, DELSYS (Figura 2), no músculo trapézio no lado esquerdo e direito de cada participante durante 15 minutos (Hong et al., 2008; Kallenberg, Schulte, Disselhorst-Klug, & Hermens, 2007). A localização deste músculo foi determinada tendo em consideração dois pontos anatómicos, a vertebra C7 e o acrómio, em que o eléctrodo é colocado a 50% da linha imaginária que une estes dois pontos¹⁰. Seguidamente a pele dos participantes é preparada, de forma a garantir um bom contacto entre o eléctrodo e a pele, através da utilização de uma pequena lixa para remover os resíduos superficiais. Caso a pele da participante estivesse coberta com excesso de pêlo havia a necessidade de o remover. Posteriormente a pele foi limpa com álcool etílico a 70% e foi realizada uma ligeira abrasão com recurso ao algodão embebido em álcool até a pele ficar rosada (Hermens et al., 1999), tendo-se permitido a sua completa vaporização para que a pele estivesse seca antes da colocação do eléctrodo. Após esta etapa, os eléctrodos foram colocados sobre o músculo (Erja Sormunen et al.,

¹⁰ <http://www.seniam.org/trapeziusdescendens.html>

2009). Para assegurar a constante localização do eletrodo na pele durante a avaliação este foi fixado por fita adesiva apropriada para aplicações dermatológicas.

O registo dos sinais amplificados foi realizado mediante a utilização de um sistema *EMGworks Acquisition* versão 4.1.7. (Delsys Incorporated, E.U.A) com uma resolução de 64 bit e a operar com uma frequência de amostragem de 2000 Hz e com uma banda entre 20 a 500 Hz (Juha Oksa et al., 2002; E. Sormunen et al., 2006; Erja Sormunen et al., 2009).

O protocolo experimental consistiu na realização de contrações isométricas, pelo que se pediu aos voluntários a execução de um teste padrão com duração de 30 segundos, em que os mesmos se mantiveram sentados numa cadeira rígida com os braços ao nível da altura do ombro num ângulo de 90° (SUURKÜLA & HÄGG, 1987). Em seguida, a CMV foi avaliada, antes de cada simulação da tarefa de embalagem de queijos nas diferentes condições térmicas, em que o sujeito manteve a contração durante 4 a 5 segundos (Bosch et al., 2009; E. Sormunen et al., 2006; Erja Sormunen et al., 2009). Nesta ação, o sujeito esteve sentado numa cadeira com os joelhos flexionados 90° e os braços suspensos verticalmente (Bosch et al., 2009). Os sujeitos elevaram os ombros realizando a CMV (Bosch et al., 2009) contra a resistência aplicada pelo investigador. Po fim, os voluntários realizaram durante 15 minutos a simulação da tarefa de embalagem de queijos, em que o sinal eletromiográfico foi avaliado continuamente (Kallenberg et al., 2007).



Figura 2: Trigno TM Wireless System, DELSYS.

Fonte: DELSYS, 2014¹¹

3.2.2.4 Avaliação da temperatura cutânea

A temperatura cutânea dos trapézios foi avaliada continuamente com o sensor da temperatura cutânea pelo Termopar: Monitor Flux 29 (Bioplux research, Wireless Biosignals, S. A.). Os sensores deste equipamento (Figura 3) foram fixados à pele dos sujeitos com fita adesiva antes das exposições às diferentes condições térmicas, apropriada para aplicações dermatológicas (E. Sormunen et al., 2006; Erja Sormunen et al., 2009). O registo dos dados foi realizado mediante a utilização de um sistema (Bioplux monitor, Wireless Biosignals, S. A.). A t_{sk} foi calculada através da equação 2 (ISO 9886, 2004). Para a realização deste cálculo determinou-se cada valor local obtido através de um coeficiente relacionado com a área correspondente (Kosaka et al., 2004).

¹¹ <http://www.delsys.com/products/wireless-emg/>

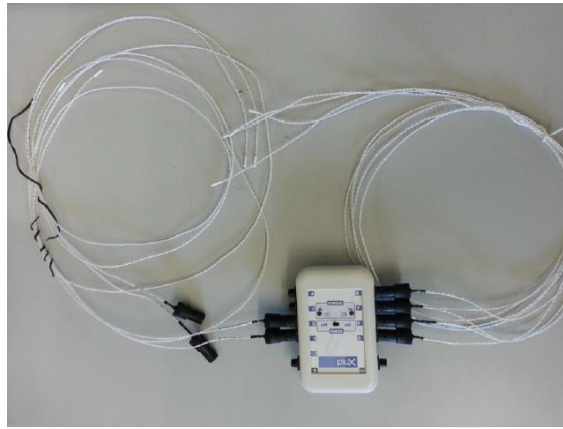


Figura 3: Termopar: Monitor Plux 29.

3.2.2.5 Avaliação da força pelo dinamómetro

Para mensuração da força (kgf), antes de cada exposição às diferentes condições térmicas foi utilizado o dinamómetro (Grip-D T.K.K. 5101, Takei). Foi pedido a cada voluntário que realizassem durante 3 segundos a CMV, prendendo com a mão dominante o dinamómetro (Figura 4). Este procedimento foi repetido três vezes, seleccionando-se a situação com o maior valor. Entre cada medição houve um intervalo de 15 segundos (Mathiowetz, 1990). No final de cada exposição cada voluntário repetiu este mesmo procedimento.



Figura 4: Grip-D T.K.K. 5101.

3.2.2.6 Avaliação da percepção dos sujeitos

Para a avaliação da percepção dos sujeitos foram seleccionados dois questionários para a recolha de dados. Os métodos utilizados foram o questionário SOFI (Anexo I) e o questionário ao trabalhador - *Análise das Condições Térmicas nos Locais de Trabalho* (Anexo II).

3.2.2.6.1 Análise da percepção do ambiente térmico

Aplicou-se um questionário ao trabalhador para avaliação das percepções térmicas, o questionário *Análise do Conforto Térmico nos Locais de Trabalho* baseado na Norma ISO 10551: 1995 “*Ergonomics of the thermal environment - Assessment of the influence of the thermal environment using subjective judgement scales*”. O questionário é constituído por cinco questões, e engloba

igualmente uma parte inicial, composta por uma caracterização relativamente à altura, idade, género, peso, categoria profissional e tempo de serviço, com o objetivo de se analisar também o perfil da população inquirida. As respostas variam dependendo da alínea a responder e são de carácter nominal.

As perguntas referem-se ao que o indivíduo sente nesse momento (sensações térmicas), como acha que é o ambiente (avaliação afetiva), como gostaria de se sentir (preferência térmica), qual o grau de aceitação com esse ambiente térmico (aceitabilidade) e qual o grau de suportabilidade do mesmo (tolerabilidade).

3.2.2.6.2 *Análise da percepção da fadiga muscular*

A fadiga percecionada foi classificada com o questionário SOFI (Elizabeth Åhsberg & Gamberale, 1998; E. Åhsberg & universitet, 1998). Este é um instrumento de avaliação multidimensional (Elizabeth Ahsberg et al., 1997) desenvolvido para aplicar no ambiente de trabalho (E. Ahsberg, Gamberale, & Gustafsson, 2000) em situações de elevado esforço físico (Elizabeth Åhsberg & Gamberale, 1998) e mental (E. Ahsberg et al., 2000).

O questionário aplicado é uma adaptação do já existente para a língua portuguesa, tendo sido revisto por três profissionais da área em estudo. Inicialmente era composto por vinte e cinco expressões; contudo, quando traduzidas para a língua portuguesa, algumas eram muito semelhantes, causando alguma confusão nos participantes, tendo sido eliminadas. Após esta revisão, este integrou vinte expressões que representam cinco dimensões da fadiga muscular (Tabela 7). Engloba igualmente uma parte inicial composta por uma caracterização quanto à altura, idade, género, peso, categoria profissional e tempo de serviço, com o objetivo de se analisar também o perfil da população inquirida.

Tabela 7: Distribuição das expressões propostas para a adaptação do questionário SOFI.

Dimensão	Itens propostos	
	Língua inglesa	Língua portuguesa
Falta de energia	<i>Worn out</i>	Esgotado
	<i>Exhausted</i>	Exausto
	<i>Lack of Concentration</i>	Falta de concentração
	<i>Overworked</i>	Sobrecarregado
Esforço físico	<i>Palpitations</i>	Palpitações
	<i>Sweaty</i>	Suado
	<i>Out of breath</i>	Sem fôlego
	<i>Breathing heavily</i>	A respirar com dificuldade
Desconforto físico	<i>Tense muscles</i>	Com os músculos tensos
	<i>Numbness</i>	Com dormência
	<i>Stiff joints</i>	Com rigidez articular
	<i>Aching</i>	Dor
Falta de motivação	<i>Lack of concern</i>	Falta de preocupação
	<i>Passive</i>	Passivo
	<i>Indifferent</i>	Indiferente
	<i>Uninterested</i>	Desinteressado
Sonolência	<i>Lazy</i>	Preguiça
	<i>Falling asleep</i>	A adormecer
	<i>Drowsy</i>	Sonolência
	<i>Sleepy</i>	Com sono

Este instrumento é constituído unicamente por uma pergunta “Até que ponto as expressões seguintes descrevem como se sente agora, depois do trabalho?”. As classificações foram feitas de acordo com uma escala numérica, onde apenas os valores extremos tinham um rótulo verbal, em que o 0 corresponde a “não de todo” e o 6 corresponde a “um grau muito elevado” (Elizabeth Åhsberg, Kecklund, Åkerstedt, & Francesco, 2000).

3.2.3 Análise de dados e estatística

O sinal EMG medido durante os 15 minutos do desempenho da tarefa de simulação de embalagem de queijos a diferentes condições térmicas foi analisado no *software Delsys EMGworks Analysis* versão 4.1.7. (*Delsys Incorporated*, E.U.A) em diferentes momentos (0, 400 e 840 segundos), em que a duração do sinal em cada momento é de 60 segundos (Hong et al., 2008). Deste modo, por cada sinal EMG avaliado durante 15 minutos na simulação da referida tarefa, obtém-se um conjunto de três sinais recolhidos no início, meio e fim da experiência.

Os dados adquiridos foram filtrados digitalmente após a aquisição, utilizando o programa MATLAB 2013^a (Math Works Inc, USA) para obtenção do VE e da MDF. Este processo inclui a remoção da média do sinal e a aplicação de um filtro passa-banda *Butterworth* de ordem 4, entre 10-400 Hz (Bosch et al., 2009). Em seguida efectuou-se uma retificação de onda completa do sinal filtrado, e calculou-se o seu envelope linear através do filtro passa-baixo de 10 Hz. Os envelopes resultantes deveriam ser então normalizados para os valores de CMV correspondentes. No entanto estes resultados não são apresentados neste estudo, isto porque se verificou que o sinal eletromiográfico não se encontrava adequado aos propósitos deste estudo, possivelmente devido a fatores influenciadores como a condução da fibra muscular, a temperatura corporal, a posição do eléctrodo em relação ao músculo e o ruído ambiente (Fukuda et al., 2010). Consequentemente foram utilizados os valores de VE não normalizados para os valores de CMV correspondentes (Kallenberg et al., 2007).

Para se realizar uma análise no domínio da frequência aplicou-se o *Fourier Transform (FFT)* (Kilby & Prasad, 2013). De forma a obter um espectro de frequência sem desvios e *outliers*, aplicou-se a *Hanning Window*. A cada janela extraída com o tamanho de 500 Hz foi sobreposta 50%, permitindo uma análise mais detalhada da variação ao longo do tempo no sinal EMG do parâmetro MDF (Kilby & Prasad, 2013). Estes dois indicadores foram armazenados numa matriz, e os seus valores foram apresentados sob a forma numérica e gráfica separadamente.

As fórmulas matemáticas para o cálculo do VE e da MDF (Roberto Merletti & Parker, 2004) citado por (Kilby & Prasad, 2013) estão dispostas nas Figuras 4 e 5, e os respetivos algoritmos utilizados no programa MATLAB no Anexo IV.

$$MDF = \int_0^{\infty} P(\omega) d\omega = \int_{MDF}^{\infty} P(\omega) d\omega$$

Equação 3: MDF.

$$RMS = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T x^2(t) dt}$$

Equação 4: RMS ou VE.

A análise e tratamento estatístico foi realizada utilizando o programa estatístico *Statistical Package for the Social Sciences (SPSS)* 22.0® para Windows da Microsoft®. A primeira análise dos dados foi descritiva da caracterização da amostra, tendo sido utilizadas médias, modas, desvios padrão e frequências absolutas.

Pelo facto de se tratar de uma amostra pequena (N=13) na avaliação de sEMG e de dinamometria, algumas variáveis mostraram não seguir uma distribuição amostral normal pelo teste *Shapiro-Wilk*, tendo sido utilizados Testes não Paramétricos (Teste *Wilcoxon*) bilaterais e unilaterais para

estas mesmas variáveis. Realizaram-se correlações de *Pearson* para as variáveis quantitativas. O índice de significância utilizado foi de 5% ($p = 0,05$). Houve ainda a necessidade de recorrer ao auxílio de outras ferramentas, como o *software Microsoft Office*, nomeadamente o *Excel* (folha de cálculo).

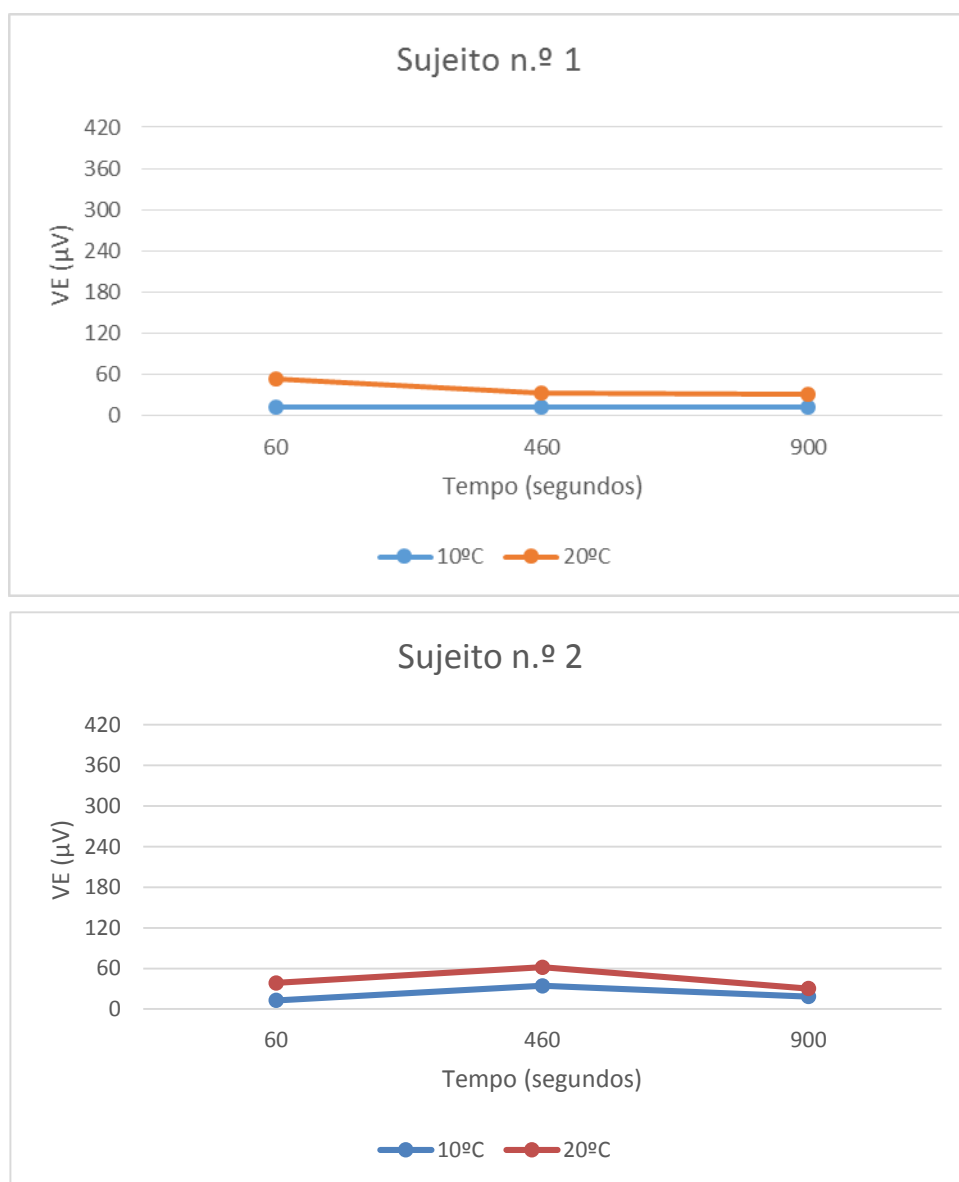
4 RESULTADOS

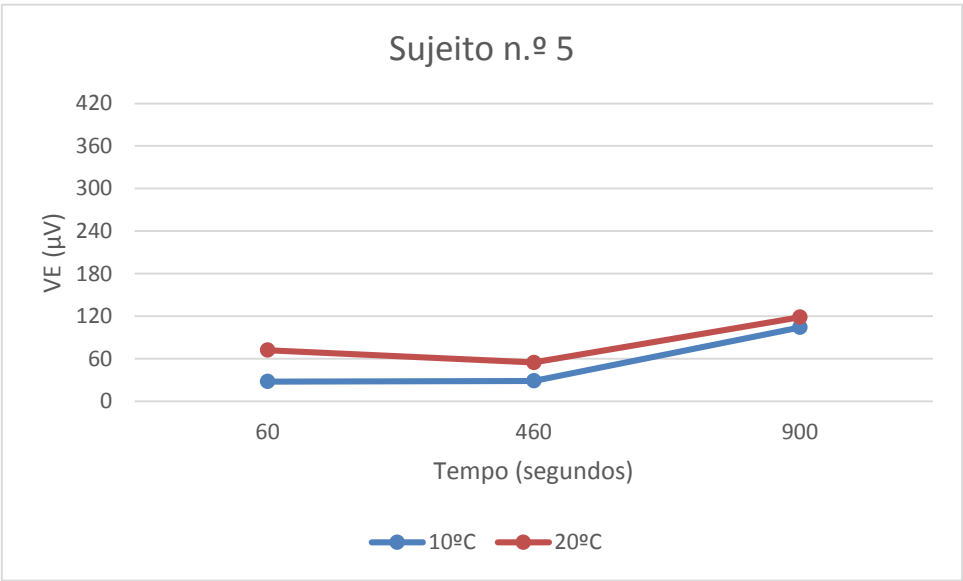
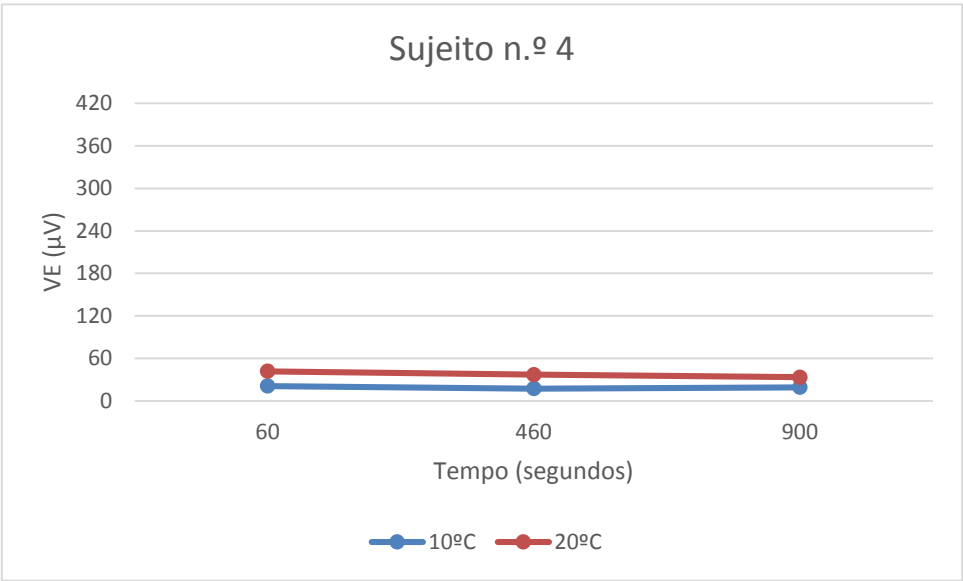
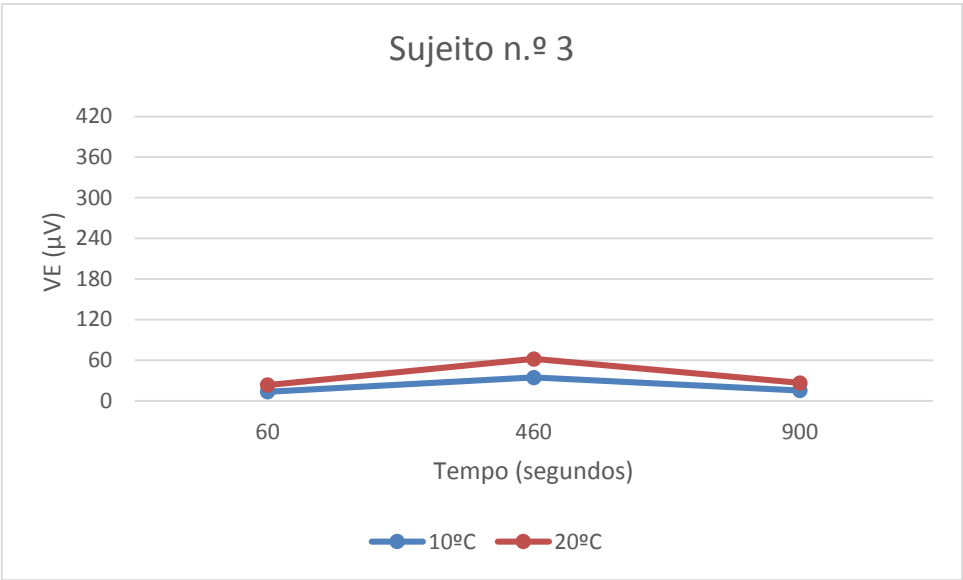
Neste capítulo vão ser apresentados os resultados obtidos neste estudo.

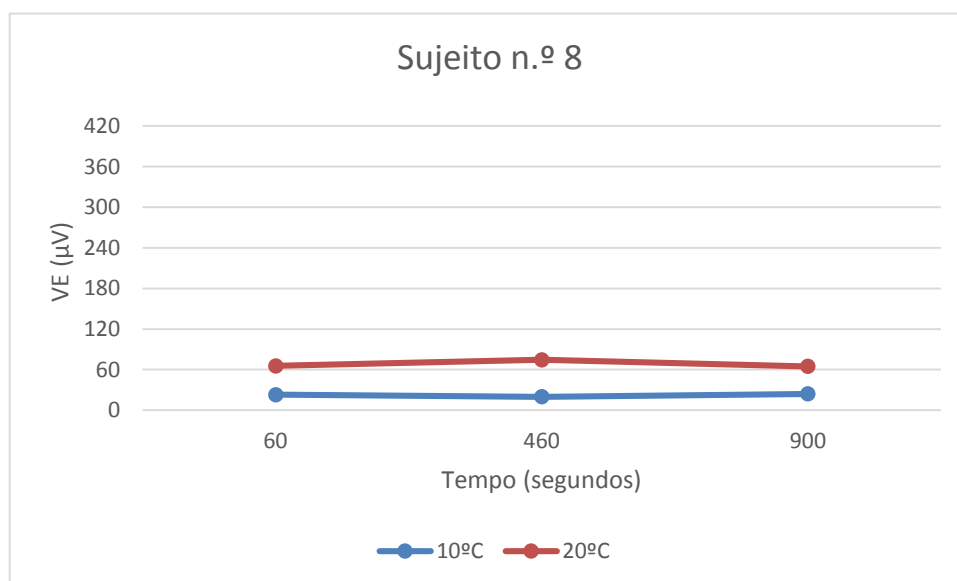
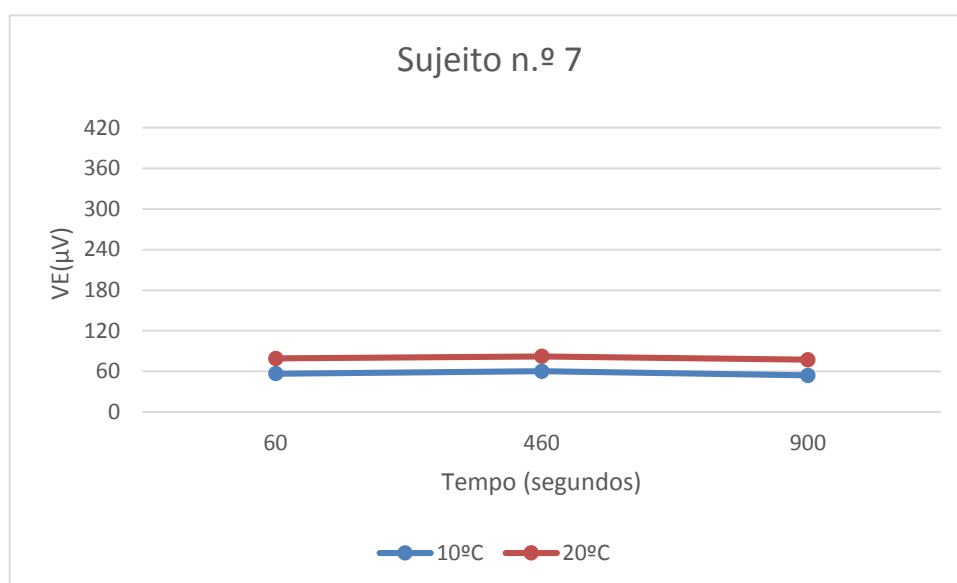
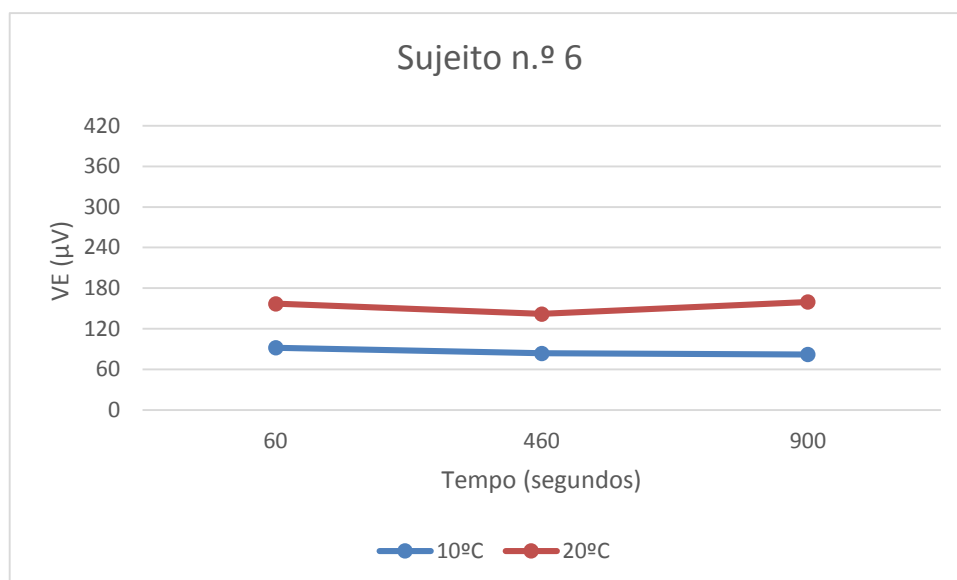
4.1 Avaliação do sinal eletromiográfico

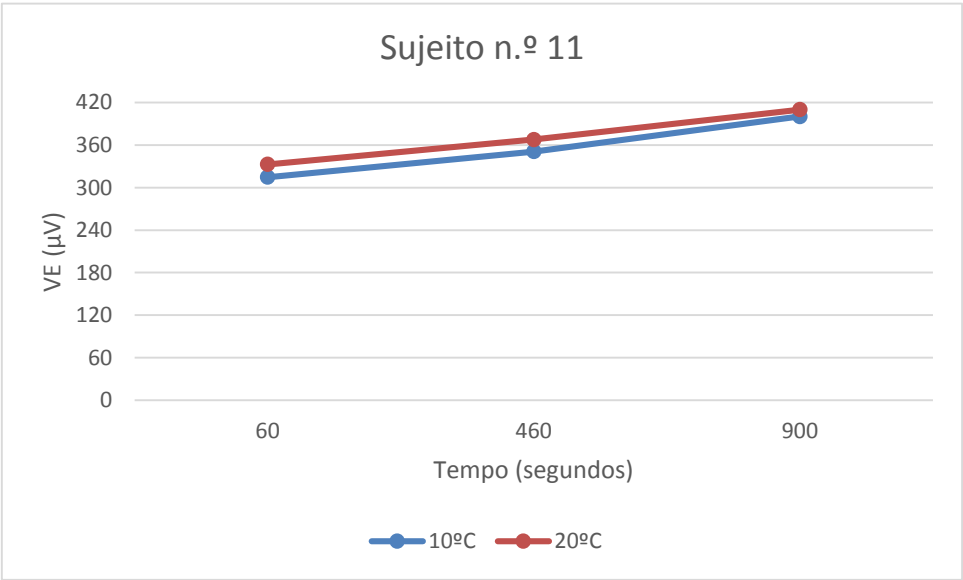
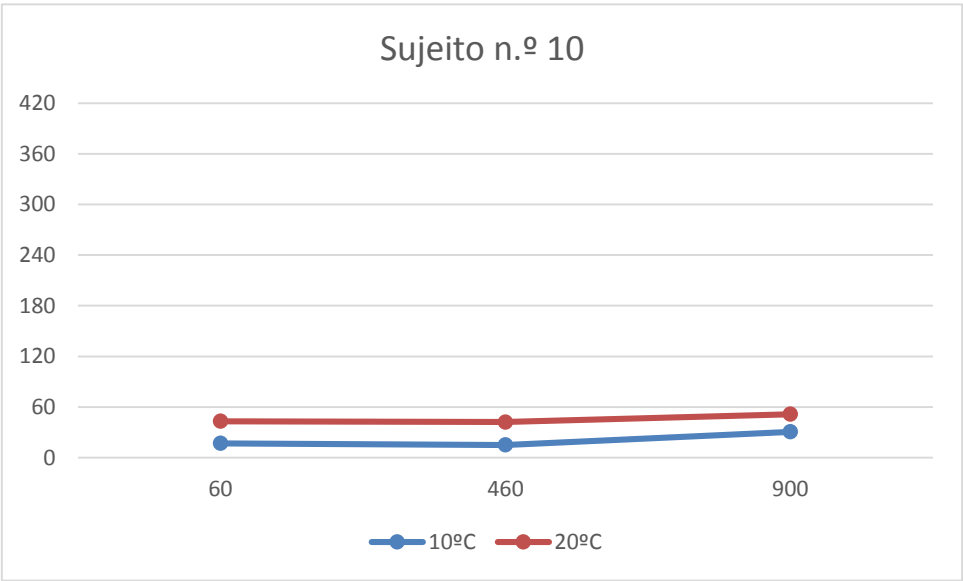
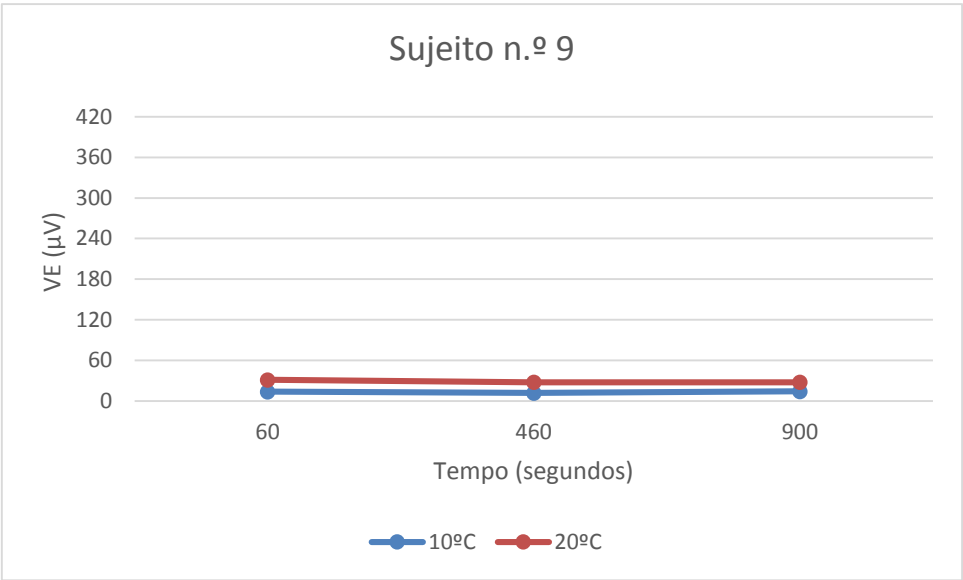
Os resultados obtidos são seguidamente apresentados sob a forma de tabelas e gráficos, possibilitando assim uma leitura pormenorizada dos valores obtidos.

A análise gráfica do VE de cada indivíduo para o início, meio e ainda final da tarefa do músculo trapézio encontra-se explícito nas Figuras 5 e 6.









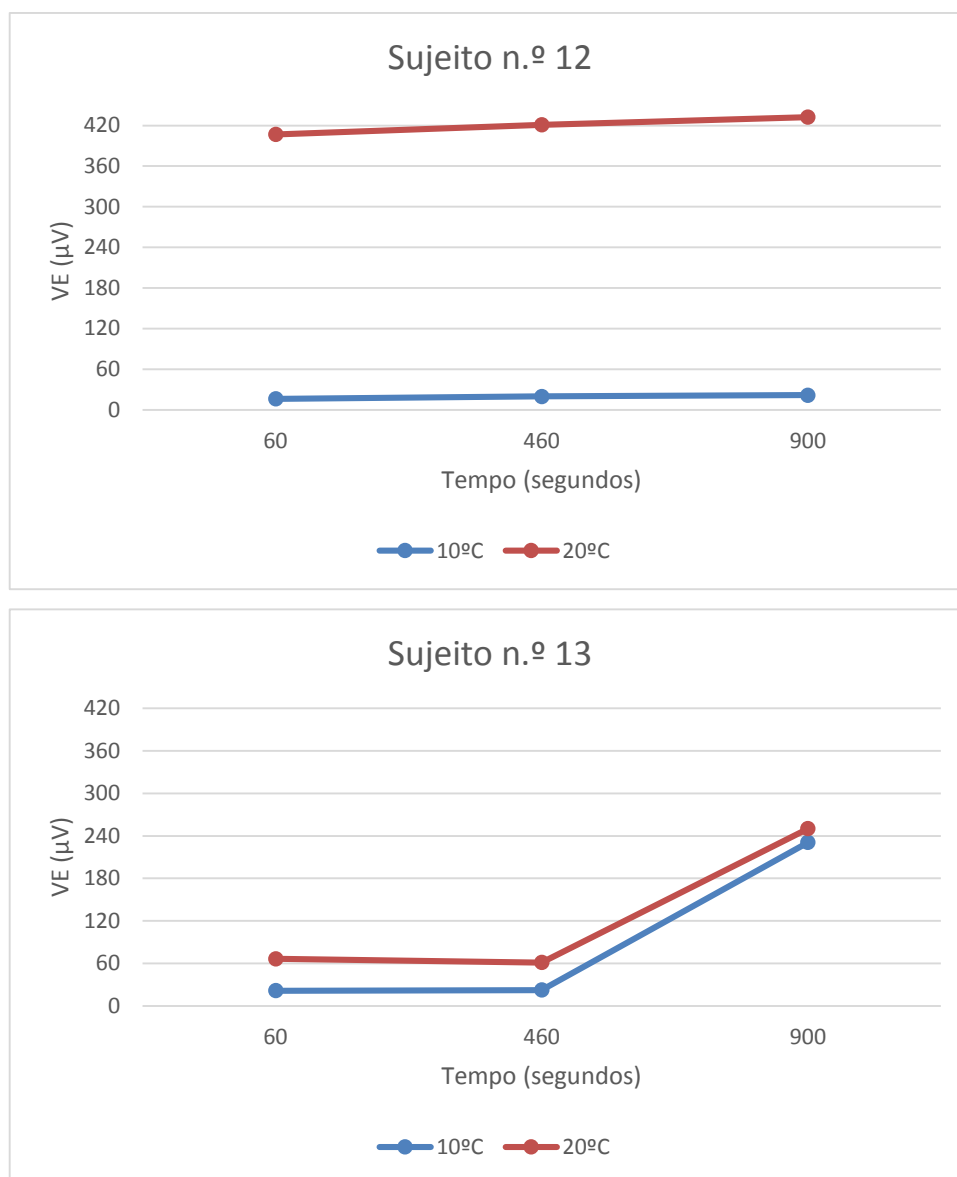
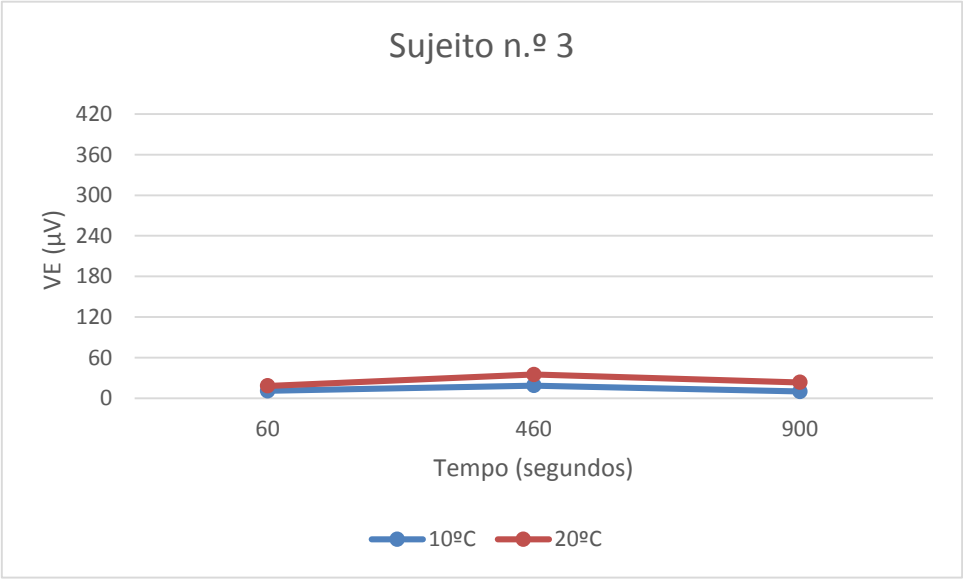
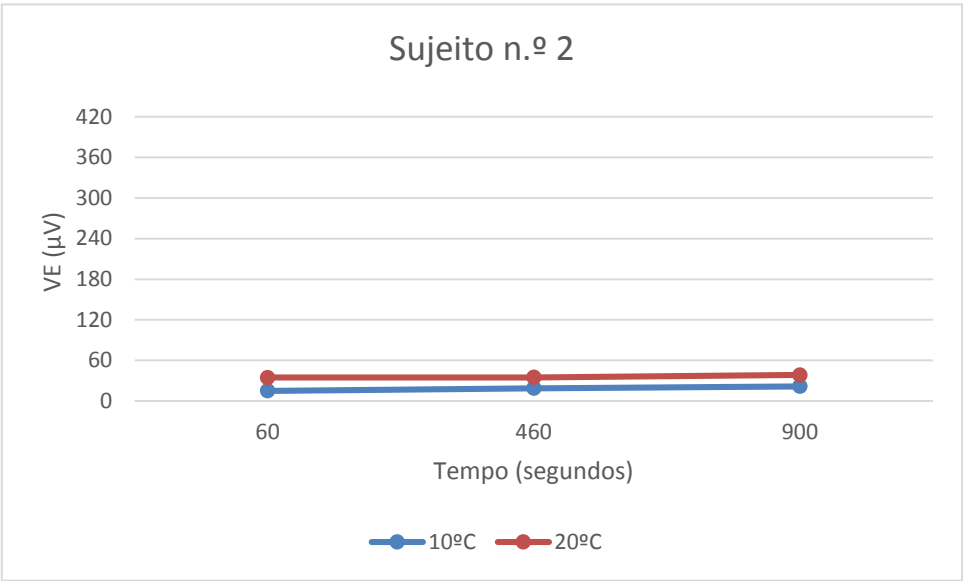
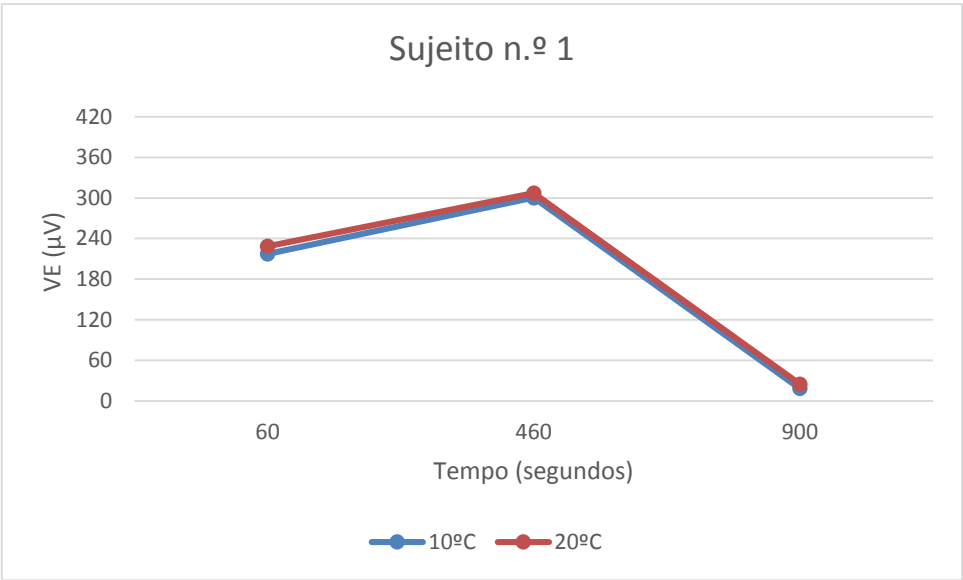


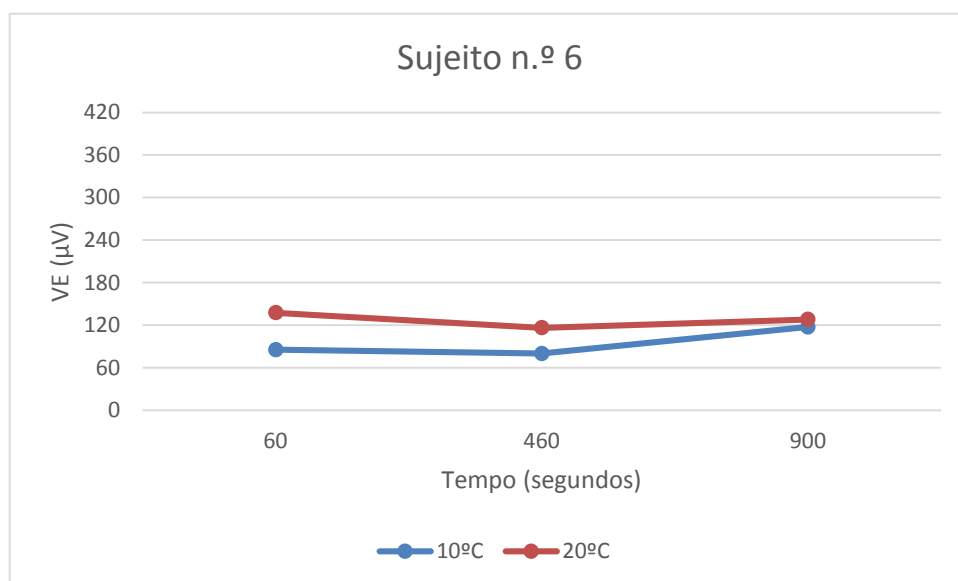
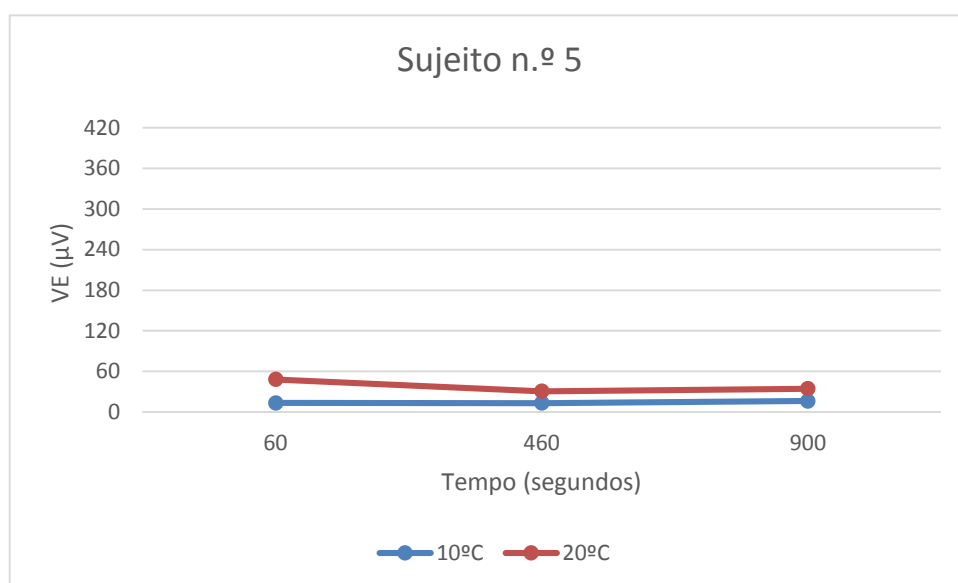
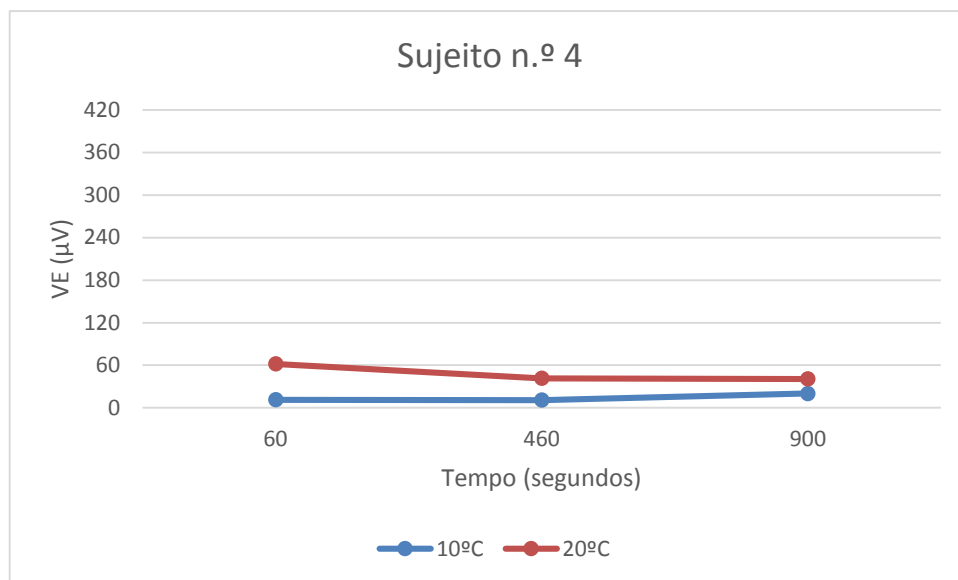
Figura 5: Evolução do VE no trapézio não dominante dos 13 indivíduos avaliados.

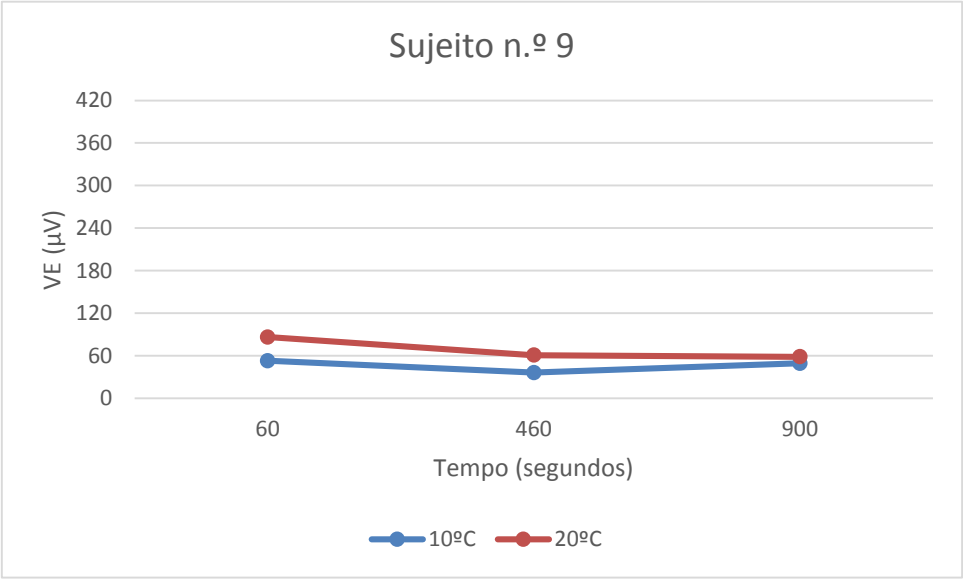
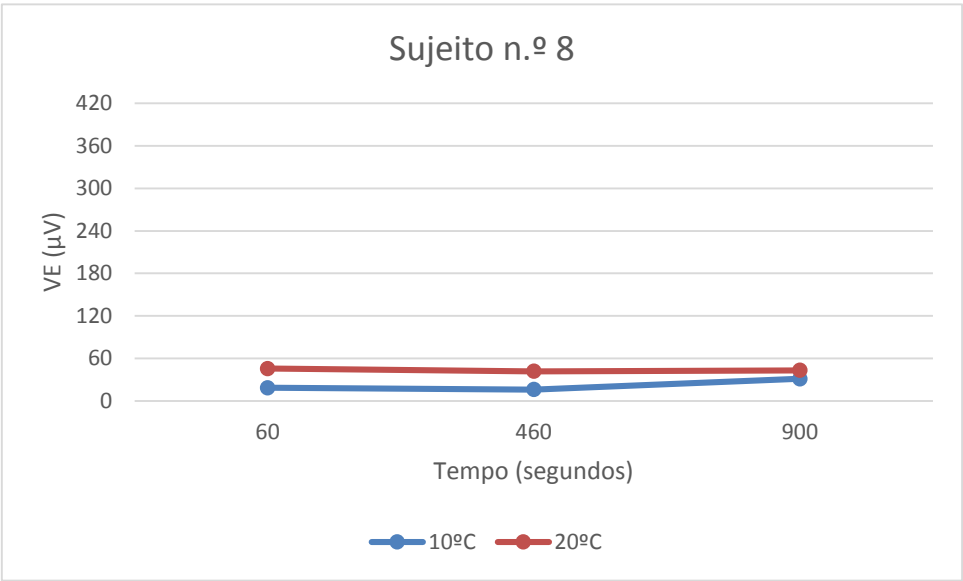
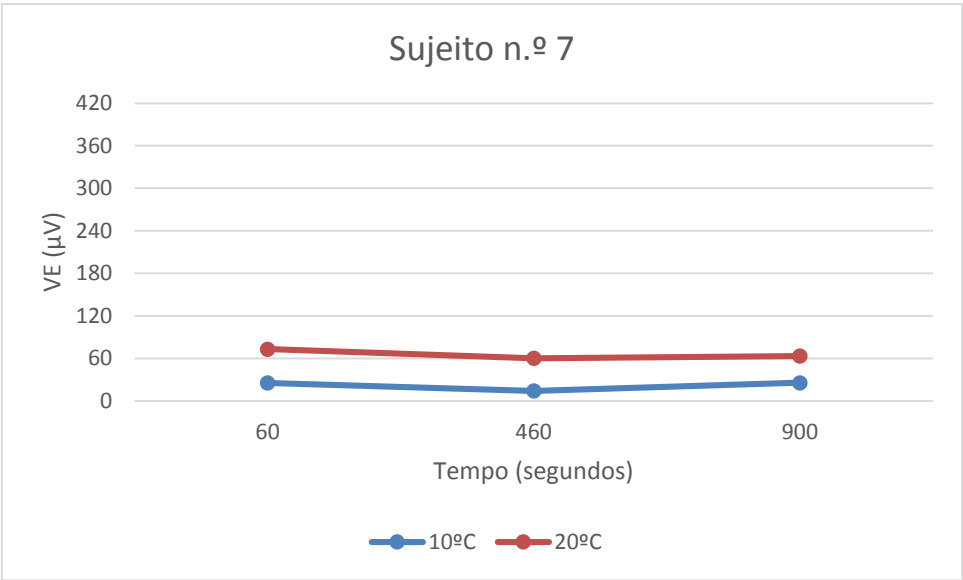
Analisando a Figura 5, verifica-se que no trapézio esquerdo dos indivíduos n.ºs 1, 4, 5, 8, 9, 10, 11, 12 e 13, na exposição a um ambiente térmico frio o valor de VE tende a aumentar do meio para o final da avaliação da tarefa. Nos restantes indivíduos não se verificou qualquer aumento do valor de VE em diferentes condições térmicas do momento 460 segundos para 900 segundos, exceto no indivíduo 6. Neste observa-se um valor superior de VE na exposição ambiente térmico neutro para o mesmo intervalo de tempo.

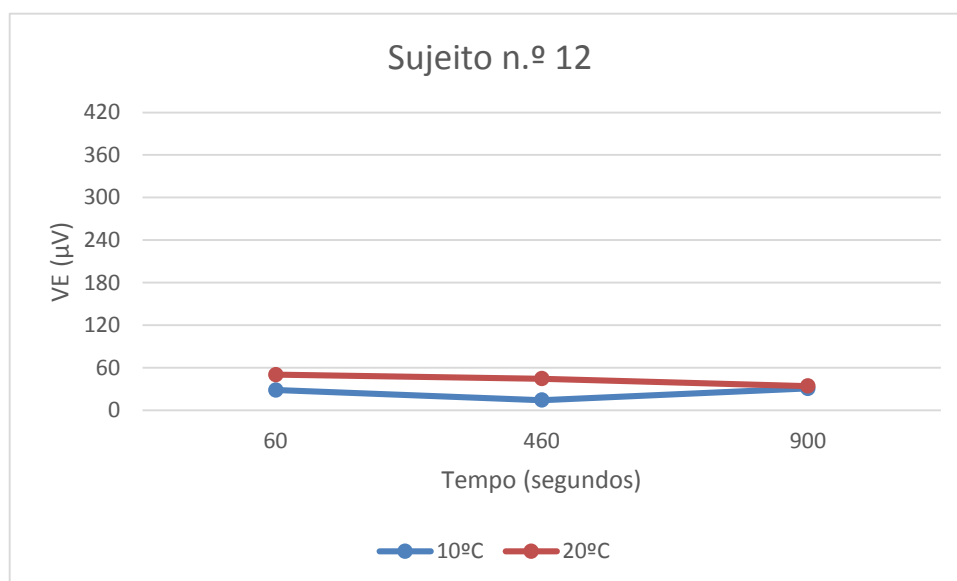
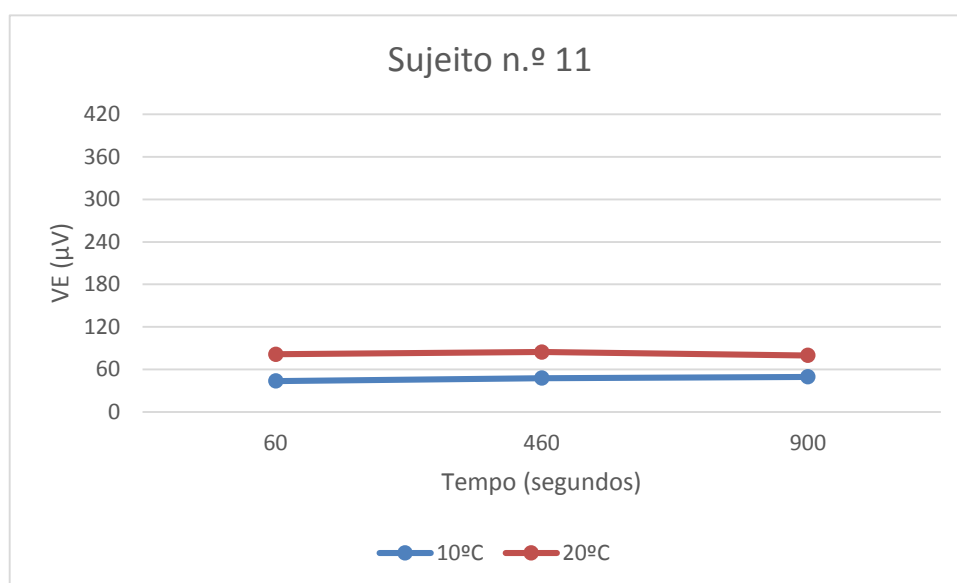
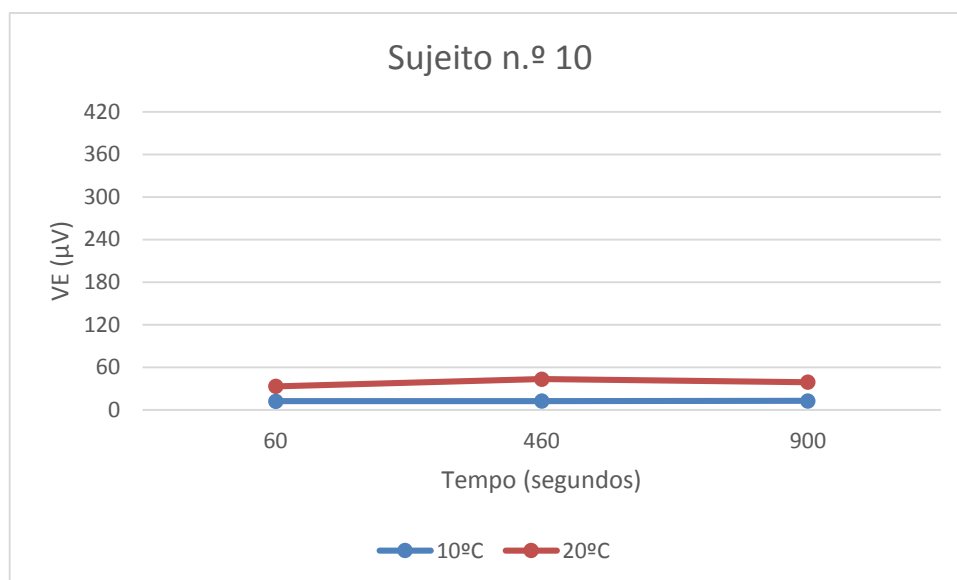
Os indivíduos n.ºs 5, 10, 11, 12 e 13 apresentaram um aumento do valor de VE (μV) no trapézio não dominante, entre o período de tempo 460 e 900 segundos nas diferentes condições térmicas. Os indivíduos n.ºs 6 e 7 apresentaram uma evolução positiva do VE (μV) no trapézio não dominante ao longo do mesmo período de tempo apenas para a exposição a condições térmicas frias.

Numa análise intra-individual dos sujeitos n.ºs 5, 10 e 13, observa-se uma tendência para um aumento mais acentuado do valor de VE (μV) entre o período de tempo 460 e 900 segundos na exposição a um ambiente térmico frio relativamente a condições térmicas neutras.









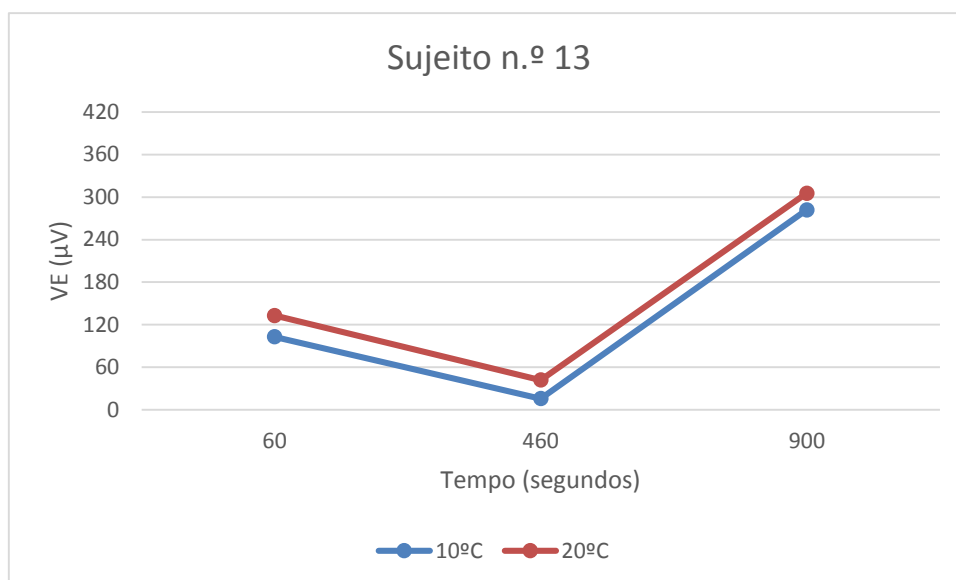


Figura 6: Evolução do VE no trapézio dominante dos 13 indivíduos avaliados.

Pela análise da Figura 6, os indivíduos n.ºs 2, 4, 5, 6, 8, 9, 12 e 13 apresentaram um aumento do valor de VE (µV) no trapézio direito, entre o período de tempo 460 e 900 segundos nas diferentes condições térmicas. Os indivíduos n.ºs 4, 7, 10 e 11 apresentaram uma evolução positiva do VE (µV) no trapézio direito ao longo do mesmo período de tempo apenas para a exposição a condições térmicas frias.

Numa análise intra-individual dos sujeitos n.ºs 6, 8, 9, 12 e 13, observa-se uma tendência para um aumento mais acentuado do valor de VE (µV) entre o período de tempo 460 e 900 segundos na exposição a um ambiente térmico frio relativamente a condições térmicas neutras.

Analisando os indivíduos que obtiveram uma evolução positiva do VE (µV) a partir dos 460 segundos em ambos os músculos (n.ºs 4, 5, 8, 9, 11, 12 e 13), sob a perspetiva anterior, considerando a comparação entre o trapézio dominante com o trapézio no lado não dominante na exposição a um ambiente térmico frio, verifica-se que há uma tendência para um aumento positivo mais acentuado no trapézio dominante, exceto nos sujeitos n.ºs 5 e 11.

A análise descritiva MDF (Hz), obtida a partir das diferenças entre o início e o meio, e ainda entre o meio e o final da tarefa para o músculo trapézio encontra-se explicitada na Tabela 8. Pela análise desta tabela, o valor médio da MDF (Hz), para uma temperatura de 10°C, avaliada no trapézio esquerdo pelo Trigno™ Wireless System, DELSYS ao final de 60 segundos foi de $23,30 \pm 5,97$ Hz e de $32,65 \pm 5,84$ Hz no trapézio direito. Após 460 segundos, o valor médio da MDF identificada nos trapézios esquerdo e direito foi de $28,19 \pm 7,06$ Hz e de $32,92 \pm 4,83$ Hz, respetivamente. Por fim, após a realização da tarefa (900 segundos), a MDF (Hz) observada no ambiente térmico frio nos músculos já mencionados foi de $22,75 \pm 6,64$ Hz e de $30,77 \pm 5,35$ Hz. No ambiente térmico neutro observou-se os seguintes valores médios da MDF (Hz) após 60, 460 e 900 segundos no trapézio esquerdo: $28,63 \pm 5,50$ Hz; $29,42 \pm 5,79$ Hz; $26,51 \pm 7,89$ Hz, enquanto no trapézio direito se obteve $30,97 \pm 7,84$ Hz; $32,21 \pm 7,72$ Hz; $32,05 \pm 8,76$ Hz para os mesmos intervalos de tempo.

Tabela 8: Valores obtidos de MDF e o valor de p obtido com o teste estatístico

Músculo de medição	Intervalo de tempo de avaliação	10°C, 30% HR			20°C, 30% HR		
		X±Dp	Mínimo	Máximo	X±Dp	Mínimo	Máximo
Trapézio esquerdo	60s	28,30±5,97	20,79	38,31	28,63±5,50	19,03	36,01
	460s	28,19±7,06	21,35	42,47	29,42±5,79	19,37	37,35
	900s	22,75±6,64	9,19	36,20	26,51±7,89	9,69	39,89
Trapézio direito	60s	32,65±5,84	21,60	39,38	30,97±7,84	24,60	54,25
	460s	32,92±4,83	23,12	38,55	32,21±7,72	24,43	46,27
	900s	30,77±5,35	21,29	38,49	32,05±8,76	17,74	55,39

O reduzido tamanho da amostra ($N = 13$) contribuiu para a aplicação dos próximos testes estatísticos nos dados, que se encontram descritos na Tabela 9, na qual se podem observar os valores médios da variável diferença entre a MDF nos períodos de tempo avaliados pela sEMG.

Tabela 9: Variável diferença MDF entre os intervalos de tempo 60, 460 e 900 segundos, e os respetivos valores prova obtidos pelo Teste *Wilcoxon*.

		Variável diferença	$X \pm Dp$	Valor prova Teste de Wilcoxon
Ambiente térmico (10°C, 30% HR)	Trapézio esquerdo	MDF60s-MDF460s	0,11 \pm 8,01	0,507
		MDF 460s-MDF900s	5,44 \pm 8,33	0,087
	Trapézio direito	MDF60s-MDF460s	-0,27 \pm 5,45	0,480
		MDF 460s-MDF900s	2,15 \pm 4,39	0,009
Ambiente térmico (20°C, 30% HR)	Trapézio esquerdo	MDF60s-MDF460s	-0,79 \pm 2,68	0,152
		MDF 460s-MDF900s	2,90 \pm 7,26	0,552
	Trapézio direito	MDF60s-MDF460s	-1,24 \pm 6,52	0,807
		MDF 460s-MDF900s	0,15 \pm 5,01	0,552

Pela análise da Tabela 9, no músculo trapézio esquerdo, constata-se que não existem evidências estatísticas, a um nível de significância de 0,05, para afirmar que existem diferenças nas distribuições no período entre 60 e 460 segundos e entre o período de 460 e 900 segundos.

Relativamente ao músculo trapézio direito, averiguou-se que não existem evidências estatísticas, a um nível de significância de 0,05, para afirmar que existem diferenças nas distribuições o período 60 e 460 segundos. Para o ambiente térmico frio verificou-se que existem evidências estatísticas, para o mesmo nível de significância, para afirmar que existem diferenças nas distribuições entre o período 460 e 900 segundos, tendo-se identificado onze diferenças positivas. Já para os mesmos períodos de tempo, identificou-se que não existem evidências estatísticas, a um nível de significância de 0,05, para afirmar que a média das diferenças entre o período 460 e 900 segundos é diferente de zero, num ambiente térmico neutro.

As Figuras 7 e 8 mostram os valores da MDF para o início, meio e final da tarefa, em diferentes condições térmicas, avaliada nos músculos do trapézio não dominante e do trapézio dominante. Pode-se constatar, através dos gráficos presentes nestas mesmas figuras, que o valor da diferença da MDF no período de 460 segundos para os 900 segundos tende a ser superior para 10°C.

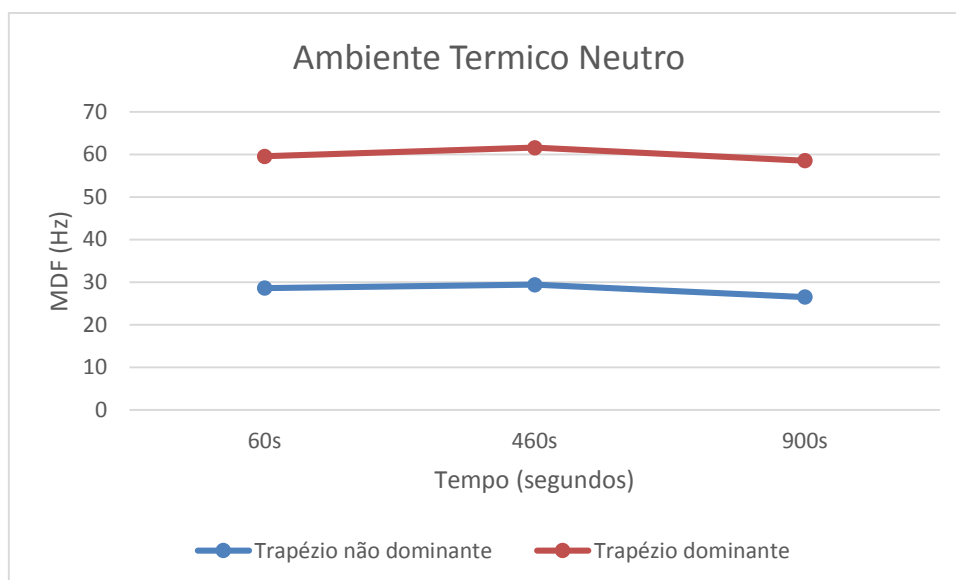


Figura 7: MDF dos músculos trapézio não dominante e dominante.

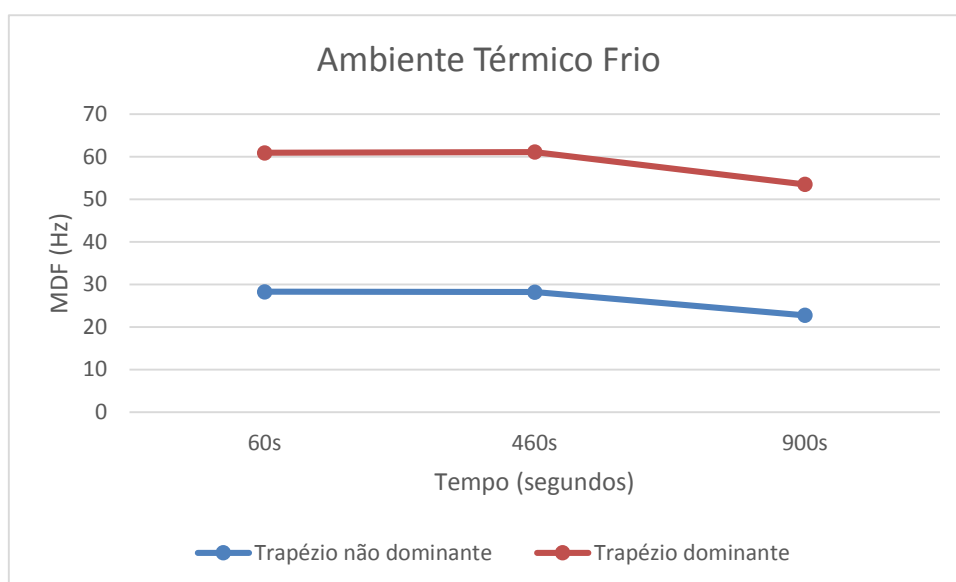


Figura 8: MDF dos músculos trapézio não dominante e dominante.

4.2 Avaliação da temperatura cutânea

A temperatura cutânea permite a caracterização da sensação térmica do corpo humano, sendo deste modo um importante parâmetro fisiológico em ambientes térmicos frios (ISO 9886, 2004). No entanto não foi possível avaliar este indicador nos voluntários durante o presente estudo.

4.3 Avaliação da força (kgf)

Na Tabela 10 apresentam-se os valores médios e respectivos desvios padrão da força (kgf), medida pelo método de dinamometria.

Tabela 10: Valores da Força (kgf) e os valores de p obtidos com os testes estatísticos

Variável	Momento de avaliação	Ambiente térmico (10°C, 30% HR)				Ambiente térmico (20°C, 30% HR)			
		Valor prova do Teste de Wilcoxon	X±Dp	Mínimo	Máximo	X±Dp	Mínimo	Máximo	Valor prova do Teste de Wilcoxon
Força (kgf)	Antes da exposição	0,780	27,75±3,97	20,40	33,60	27,63±3,18	23,50	32,30	0,252
	Depois da exposição		28,41±4,27	19,70	35,70	28,52±3,79	20,20	35,50	

Relativamente à Força (kgf), como se observa na Tabela 10 os valores médios foram de 27,75±3,97 kgf e de 28,41±4,27 kgf antes e depois da realização da tarefa no ambiente térmico frio, tendo-se verificado que não existem evidências estatísticas, a um nível de significância de 0,05, para afirmar a existência de diferenças na distribuição da força na exposição a condições térmicas frias ($p > 0,05$).

Na exposição a um ambiente com condições térmicas neutras, os valores médios de força foram de 27,63±3,18 kgf e de 28,52±3,79 kgf antes e após a realização da mesma tarefa. Não existem evidências estatísticas, a um nível de significância de 0,05, para afirmar a existência de diferenças na distribuição da força na exposição a condições térmicas neutras ($p > 0,05$).

Pela análise da Tabela 11, constata-se que o grau de associação entre a variável força isométrica máxima (kgf) exercida pelos voluntários antes da exposição às diferentes condições térmicas e as características físicas individuais (idade, IMC) não é estatisticamente relevante.

Tabela 11: Coeficiente de correlação de *Pearson*.

Variável	Coeficiente de correlação <i>Pearson</i>	
	Ambiente térmico neutro	Ambiente térmico frio
Idade (anos)	0,272	-0,120
IMC (kg/m ²)	-0,398	-0,363

4.4 Avaliação da percepção dos voluntários

4.4.1 Questionário – Análise das Condições Térmicas nos Locais de Trabalho

Pela análise das Figuras 9, 10, 11 e 12 é possível identificar a percentagem de respostas dadas às sensações e preferências térmicas em cada uma das opções deste questionário.

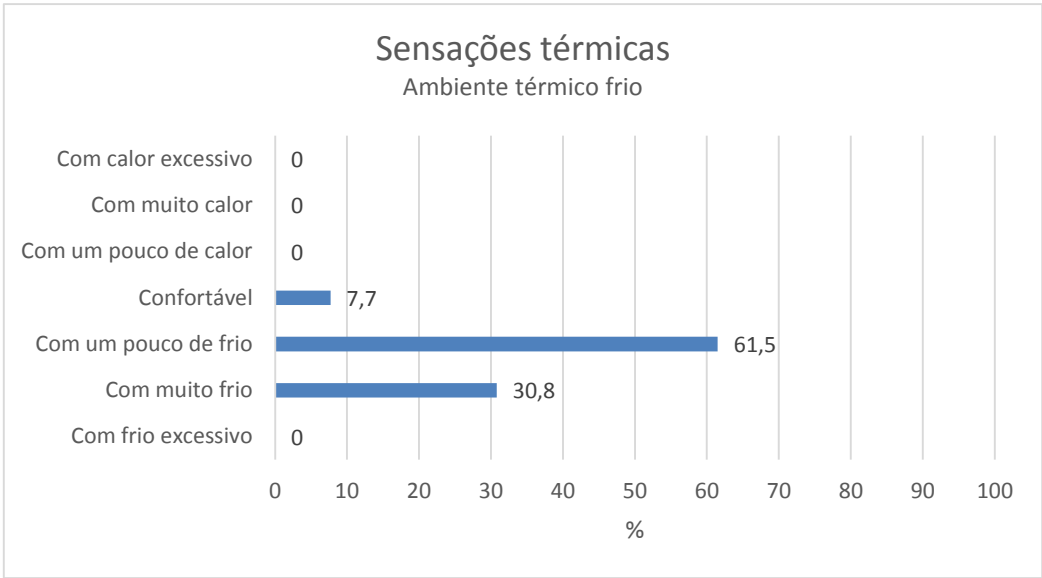


Figura 9: Sensações térmicas num ambiente térmico frio.

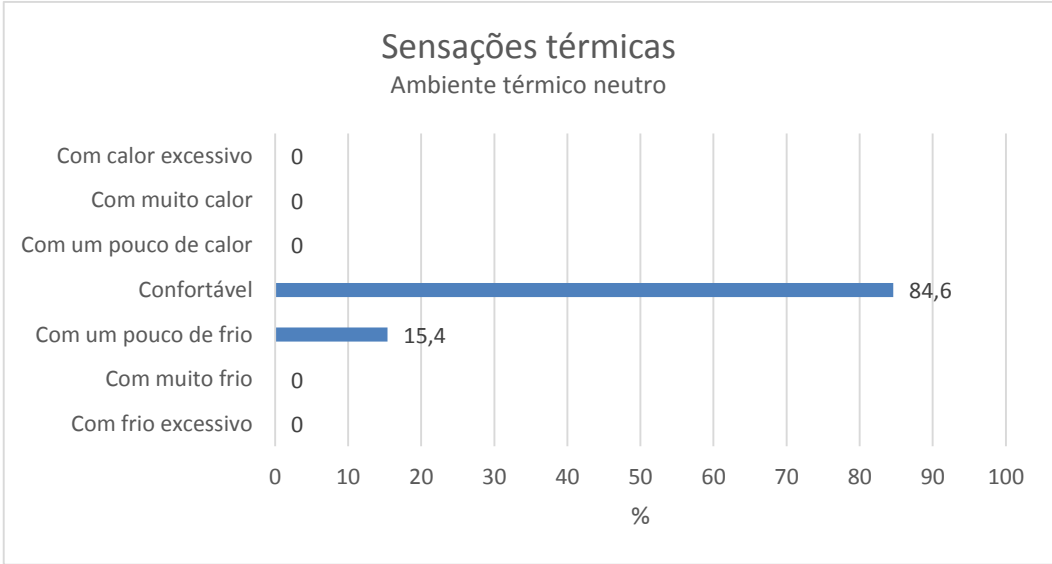


Figura 10: Sensações térmicas num ambiente térmico neutro.

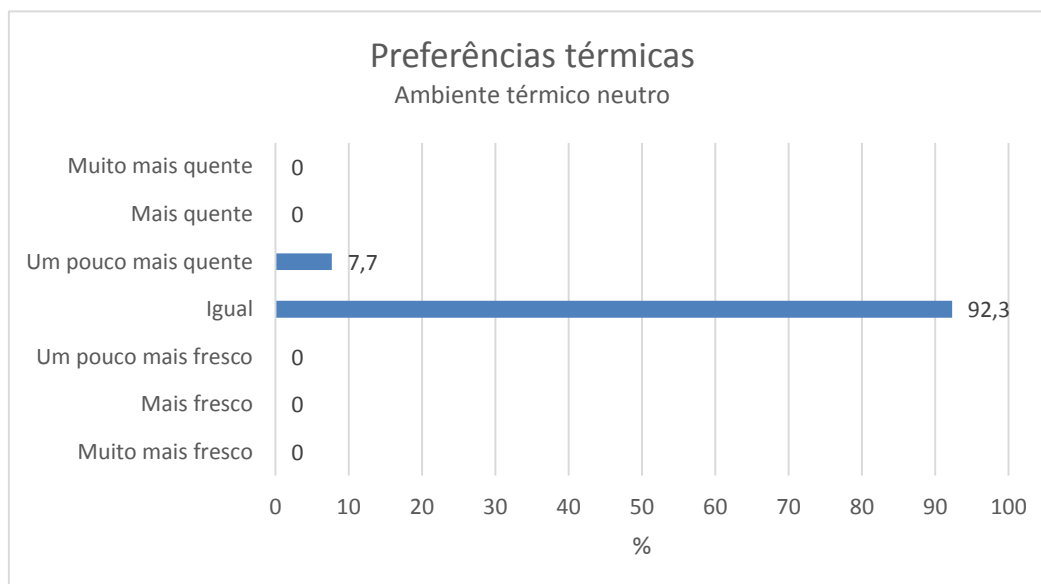


Figura 111: Preferências térmicas num ambiente térmico neutro.

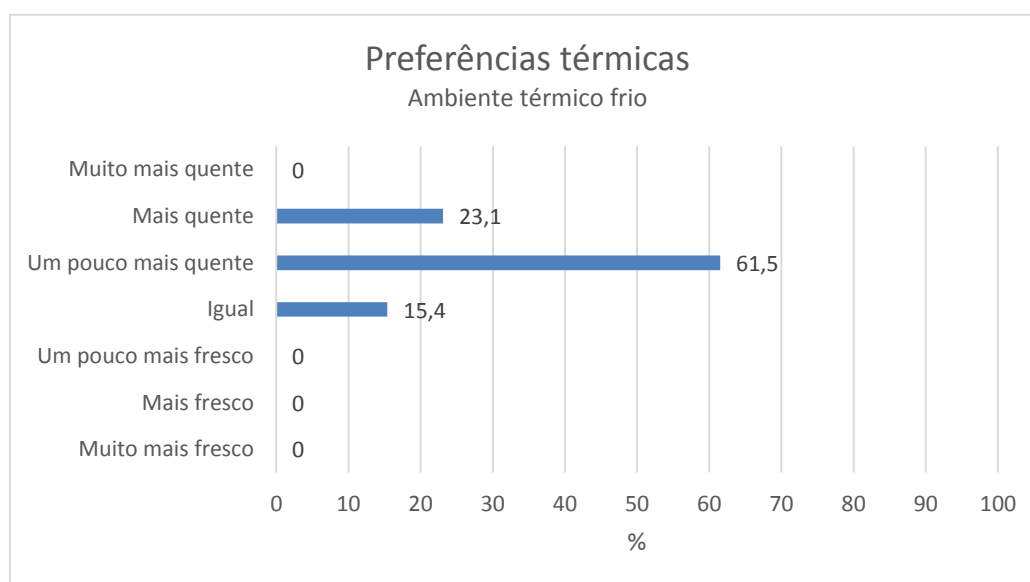


Figura 122: Preferências térmicas num ambiente térmico frio.

Relativamente à questão “Como se sente neste preciso momento?” verifica-se que houve uma tendência dos sujeitos a sentirem-se “Confortáveis, nem com calor nem com frio” (84,6%), na exposição a um ambiente térmico neutro. Não obstante, num ambiente térmico frio, 61,5 % dos participantes sentia-se “Com um pouco de frio” e 30,8% sentia-se “Com muito frio”.

Quanto à questão “Como gostaria de se estar a sentir neste momento?”, verifica-se que a maioria dos participantes preferirão ter condições térmicas mais satisfatórias, optando por sentir-se “Um pouco mais quente” e “Mais quente” (61,5% e 23,1% respetivamente). Contudo, uma percentagem significativa dos participantes escolheriam por manter as mesmas condições térmicas preferindo estar a sentir-se “Igual, nem mais quente ou frio” (92,2%), na exposição a condições térmicas neutras.

Em condições térmicas frias, os referidos resultados apontam a sensação desagradável como a mais sentida e uma tendência para preferirem condições térmicas mais satisfatórias, sendo estas as respostas mais frequentes. Isto não se verifica em condições térmicas neutras, dado que os

resultados indicam a sensação neutra como a mais sentida e uma tendência para a preferência por manter as mesmas condições térmicas.

Conforme se pode observar pelas Figuras 14, 16 e 18 as respostas obtidas relativamente às variáveis Tolerabilidade, Aceitabilidade e Avaliação Afetiva das condições térmicas do ambiente térmico frio mostram que os participantes classificam maioritariamente o ambiente como “Ligeiramente mais difícil de suportar” (61,5%), “Inaceitável” (53,8%) e “Ligeiramente desconfortável” (69,4%) respetivamente. As respostas obtidas relativamente às variáveis Tolerabilidade, Aceitabilidade e Avaliação Afetiva das condições térmicas do ambiente térmico neutro em estudo (Figuras 15, 17 e 19) mostram que os participantes classificam maioritariamente o ambiente como “Perfeitamente suportável” (84,6%), “Aceitável” (76,9%) e “Confortável” (92,3%) respetivamente.

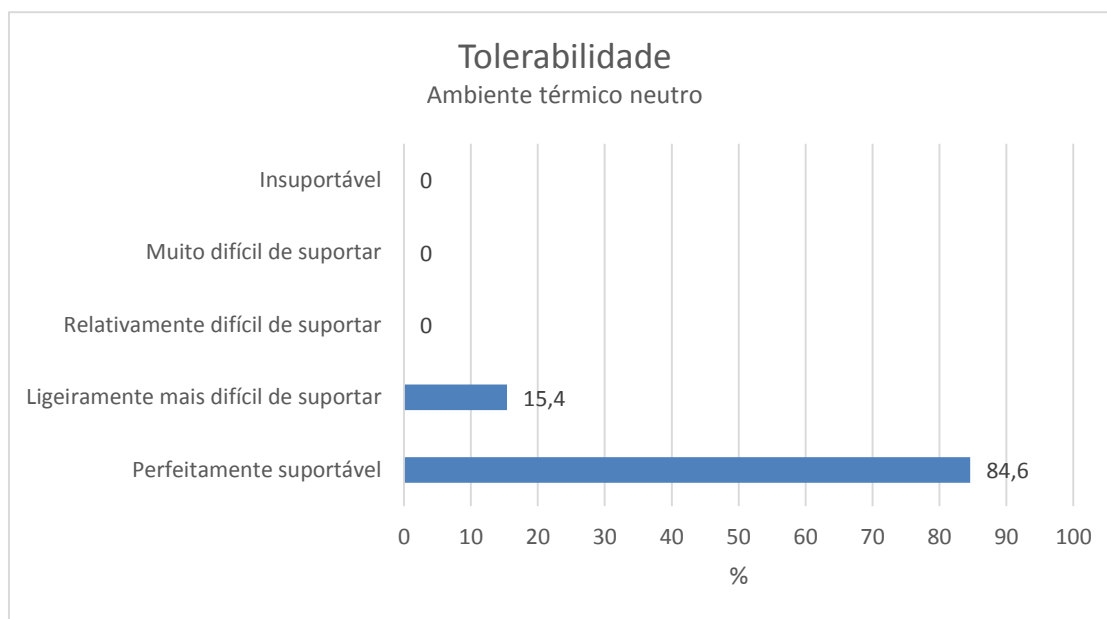


Figura 14: Tolerabilidade num ambiente térmico neutro.

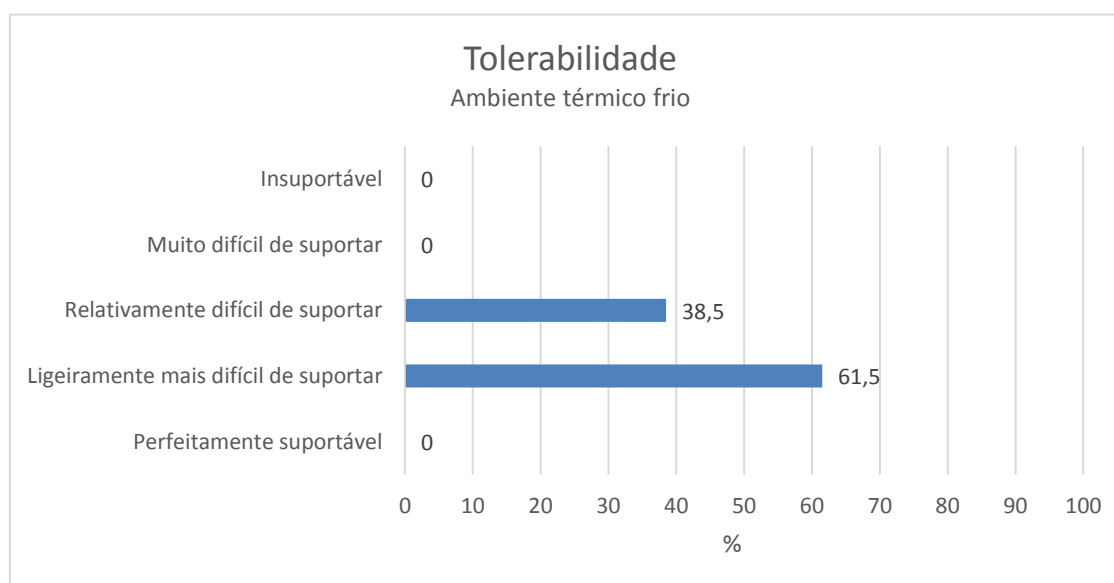


Figura 134: Tolerabilidade num ambiente térmico frio.

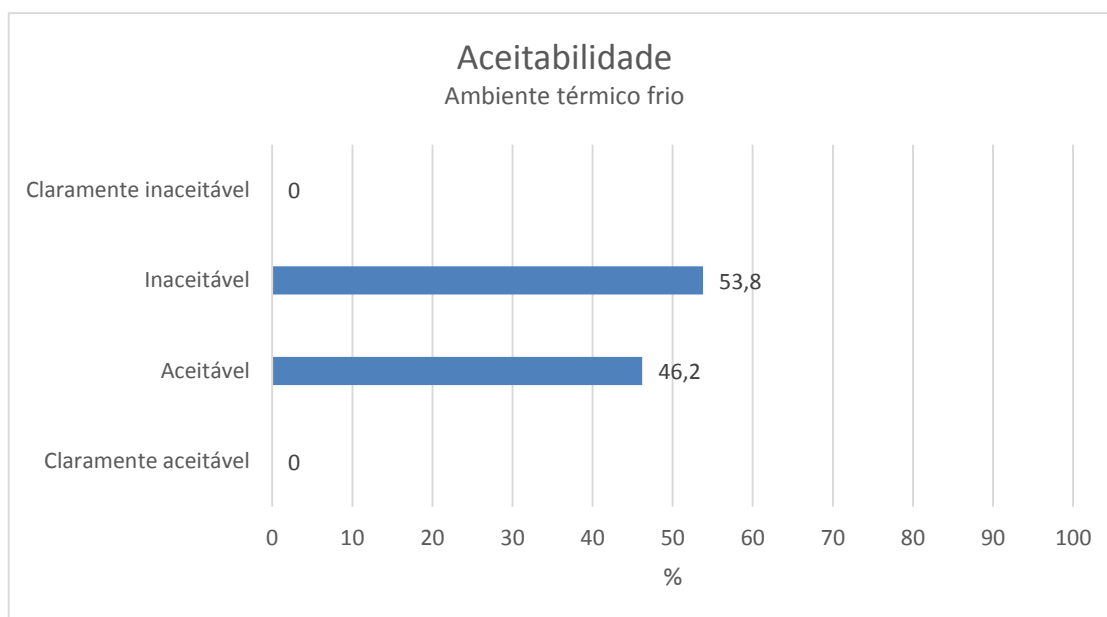


Figura 15: Aceitabilidade de um ambiente térmico frio.

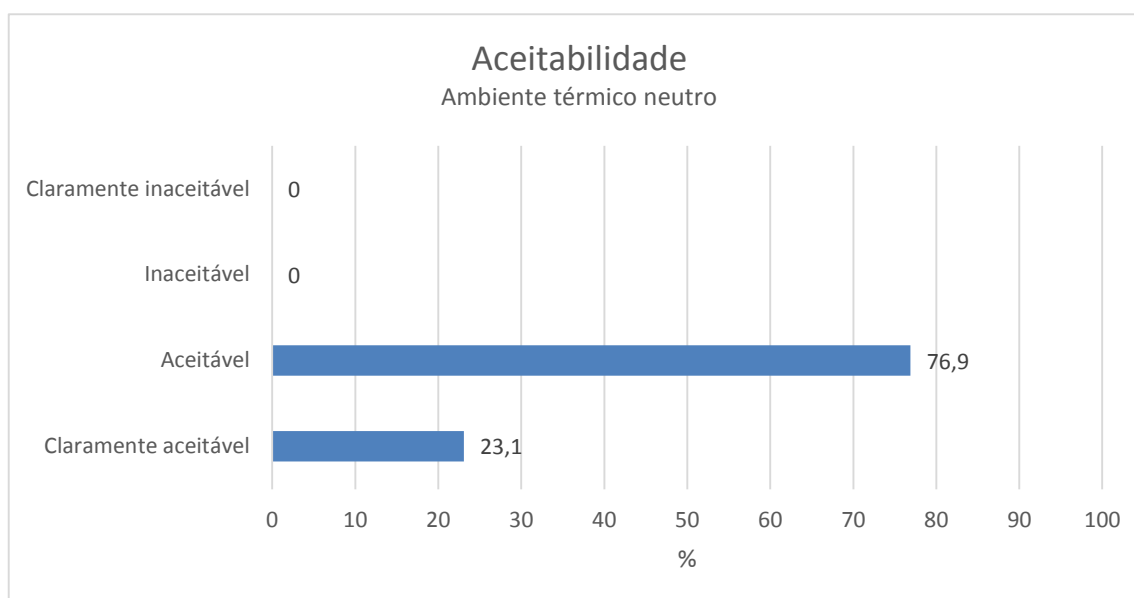


Figura 16: Aceitabilidade de um ambiente térmico neutro.

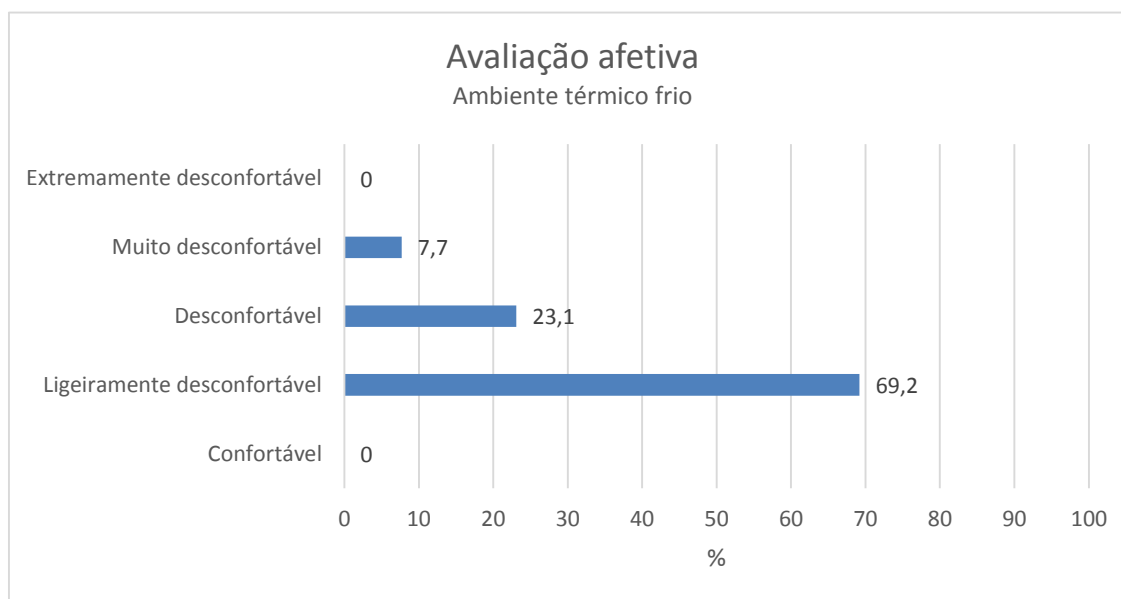


Figura 17: Avaliação Afetiva num ambiente térmico frio.

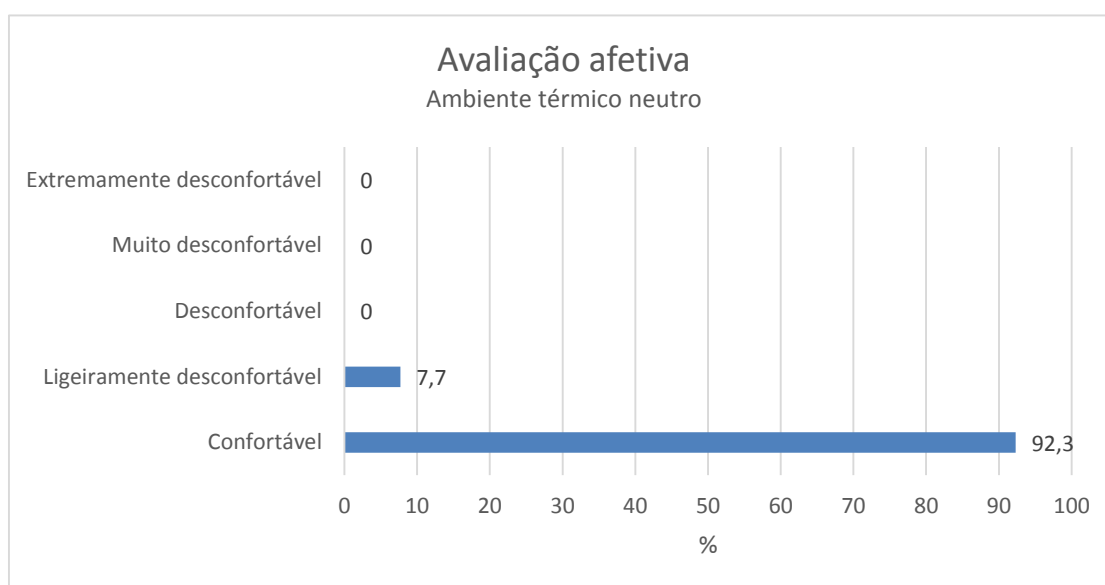


Figura 18: Avaliação Afetiva num ambiente térmico neutro.

4.4.2 Questionário – SOFI

A percepção subjetiva do esforço ou de fadiga pode ser avaliada indiretamente através da utilização de técnicas de auto-relatos. O SOFI é um instrumento desenvolvido para aplicar num ambiente de trabalho, para avaliação do trabalho, estando relacionado com a fadiga (Åhsberg, Gamberale, & Gustafsson, 2000).

A moda do questionário na exposição ao ambiente térmico frio e neutro é o 0, que corresponde “a não de todo”.

A Tabela 12 apresenta a frequência da resposta 5 e 6, que corresponde “a um grau muito elevado”, a cada uma das expressões do questionário.

Tabela 12: Frequência (N) da resposta 5 e 6 a cada expressão do questionário SOFI.

Expressões	Ambiente térmico frio	Ambiente térmico neutro
	Frequência (N)	Frequência (N)
Esgotado	0	0
Exausto	0	0
Falta de concentração	0	0
Sobrecarregado	0	1
Palpitações	0	0
Suado	0	0
Sem fôlego	0	0
A respirar com dificuldade	1	0
Com músculos tensos	0	0
Com dormência	0	0
Rigidez articular	2	0
Com dor	2	0
Falta de preocupação	0	1
Passivo	0	1
Indiferente	0	1
Desinteressado	0	0
A adormecer	0	0
Sonolência	0	0
Preguiça	0	1
Com sono	0	0

5 DISCUSSÃO

Neste capítulo vai ser apresentada uma discussão sobre os resultados obtidos, os seus significados e interações assim como as limitações do estudo.

5.1 Avaliação do sinal eletromiográfico

Estudos mostram que a realização de trabalho máximo de curta duração ou de trabalho repetitivo submáximo acabará eventualmente por induzir fadiga muscular (Barbara A Silverstein et al., 1986; Ting, 2007). A manifestação desta pode ser determinada através da diminuição da MDF (Kilby & Prasad, 2013) (Farina, Madeleine, Graven-Nielsen, Merletti, & Arendt-Nielsen, 2002; R Merletti, Lo Conte, & Orizio, 1991; Szeto, Straker, & O’Sullivan, 2005) e do aumento do VE (Farina, Fosci, & Merletti, 2002; Farina, Madeleine, et al., 2002; Fukuda et al., 2010; Kallenberg et al., 2007; Kilby & Prasad, 2013; Roberto Merletti, Knaflitz, & De Luca, 1990). O VE é um dos parâmetros mais utilizados para análise no domínio temporal, sendo considerado representativo do nível de atividade fisiológica na unidade motora durante a contração muscular voluntária (De Luca, 1997; Fukuda et al., 2010).

A MDF é definida como a frequência que divide o espectro de potência em duas partes com áreas iguais. Este indicador de fadiga muscular é considerado o mais sensível a modificações em frequência baixas (20-40 Hz) (Hägg & Kadefors, 1996; Stulen & De Luca, 1981) sendo assim, entre as medida de tendência central, o parâmetro mais apropriado para avaliar a fadiga muscular para análise no domínio de frequência. Deste modo o presente estudo selecionou estes indicadores para verificar se a exposição a um ambiente frio pode acentuar o fenómeno de fadiga muscular durante a contração dinâmica.

Na avaliação da fadiga muscular pela análise do VE (μV) de cada indivíduo, foram observados em 84,62% dos indivíduos, no trapézio dominante, um aumento do VE entre 460 e 900 segundos na exposição a um ambiente térmico frio, enquanto no trapézio não dominante apenas em 53,85% dos indivíduos apresentaram um aumento do VE (μV) entre 460 e 900 segundos. Nos indivíduos que apresentaram uma evolução positiva para este mesmo período de tempo em ambas as condições térmicas, verificou-se que o aumento do valor de VE tende a ser superior na exposição a ambientes frios do que em ambientes neutros. Consequentemente os referidos sujeitos, no desempenho da sua tarefa num ambiente térmico frio, apresentaram um estado de fadiga superior que em condições térmicas neutras, dado que Bosch, De Looze & Van Dieen (2007) identificaram que o aumento do VE em conjunto com a diminuição da MDF (facto referido na posterior análise deste parâmetro no presente estudo) são indícios da ocorrência de fadiga muscular.

O trapézio dominante apresenta um aumento positivo mais acentuado do que o trapézio não dominante na exposição a um ambiente térmico frio nos indivíduos em que se observou uma evolução positiva do VE (μV). Não é possível afirmar a existência desta ilação com rigor científico, verificando-se apenas que existe a tendência para ocorrer este facto entre os indivíduos avaliados. Tendo em consideração este pressuposto, a referida ilação é contraposta pela análise do parâmetro MDF (Hz) e pelo estudo realizado por De Luca, Sabbahi & Roy (1986), no qual é identificado que o músculo do lado dominante apresentava menor grau de fadiga muscular do que o do lado não dominante. Na comparação entre os estudos é necessário ter em consideração que as tarefas desempenhadas não são semelhantes.

A avaliação da fadiga muscular apresentou valores médios de MDF diferentes para os músculos trapézio esquerdo e direito, nos diferentes períodos de tempo e em condições térmicas diferentes, não se tendo verificado no entanto que a MDF é diferente de acordo com o músculo avaliado ($p > 0,05$). Porém pela análise dos valores médios constata-se que a MDF é superior no músculo

trapézio direito, o qual pertence ao lado dominante do corpo, uma vez que os voluntários são destros. Idealmente o músculo do lado dominante apresenta menor grau de fadiga muscular do que o músculo do lado não dominante, uma vez que foram encontradas diferenças estatísticas significativas entre o lado dominante e o não dominante do corpo humano, num estudo realizado por (De Luca, Sabbahi, & Roy, 1986). Este facto indica que o músculo trapézio direito (dominante) deve apresentar um estado de fadiga menor em relação ao músculo trapézio esquerdo (não dominante). Esta observação é apoiada ao que se identificou na avaliação em ambos os contextos térmicos, já que o músculo trapézio direito é o que tem a tendência para uma menor diminuição da MDF ao longo da sessão de trabalho executada pelos voluntários. Este resultado era esperado, o que é apoiado pela bibliografia, uma vez que segundo (Adam, De Luca, & Erim, 1998) e Kitahara, Schnoz, Läubli, Wellig, & Krueger, (2000), estudos sugerem que a utilização preferencial de um lado do corpo humano em relação ao outro conduz a alterações na composição da membrana da fibra muscular e nas propriedades da unidade motora. Os músculos presentes no lado dominante tendem a possuir uma maior prevalência de fibras tipo I (contração lenta) (Gerdle & FUGL-MEYER, 1992) sendo importante não esquecer que não existem diferenças significativas de MDF entre os músculos trapézio não dominante e dominante no presente estudo. A não existência de diferenças significativas verificadas entre os músculos pode ser justificada pelo reduzido tamanho amostral ou pelo facto de que cada um dos lados tem um desempenho adequado às suas potencialidades.

Não obstante à constatação identificada anteriormente, verificou-se que a existência de valores discrepantes, ou seja, *outliers*. Por exemplo, o valor mínimo de 9,19 e máximo de 42, 47 Hz corresponde ao trapézio não dominante de um indivíduo de 25 anos com um IMC normal exposto a um ambiente térmico frio. Enquanto os valores máximos de 46,27; 54,25 e 55,39 Hz correspondem ao trapézio direito do mesmo indivíduo quando exposto a um ambiente térmico neutro, em que este tem características físicas semelhantes ao indivíduo referido na situação anterior.

Face aos resultados obtidos na Tabela 9 também se verificou que a diferença da média da MDF entre os 460 e 900 segundos foi relativamente superior num ambiente térmico frio. Esta variou em condições térmicas frias e neutras, de $5,44 \pm 8,33$ para $2,91 \pm 7,26$ Hz no músculo trapézio esquerdo, e de $2,15 \pm 4,34$ para $0,15 \pm 5,01$ Hz no músculo trapézio direito, respetivamente. Verificou-se ainda que existem onze diferenças positivas, indicando assim o estado de fadiga em onze sujeitos, uma vez que ocorre uma diminuição da MDF ao longo da tarefa (Kilby & Prasad, 2013) (Farina, Madeleine, et al., 2002; R Merletti et al., 1991; Szeto et al., 2005). Logo os sujeitos no desempenho da sua tarefa, num ambiente térmico frio, apresentaram um estado de fadiga superior do que em condições térmicas neutras.

Alguns estudos comprovaram que a atividade muscular nos braços é superior num ambiente térmico frio do que em condições térmicas neutras (Juha Oksa et al., 2002). O trabalho repetitivo manual do presente estudo num ambiente frio provocou maior acentuação de fadiga que a realização de tarefas semelhantes em condições neutras (Juha Oksa et al., 2002; Erja Sormunen et al., 2009). Tal facto pode ser justificado pelo aumento do recrutamento de unidades motoras em adição às fibras de tipo I existentes, possivelmente devido a uma diminuição da temperatura cutânea (J Oksa, Rintamäki, & Rissanen, 1997), alterações na ordem do recrutamento destas fibras, já que podem ocorrer mudanças no limiar do recrutamento (Yona, 1997) (Faulkner et al., 1990; J Oksa et al., 1997), e ainda pelo aumento da atividade reflexiva (J. Oksa, 2002). Tendo em consideração a ocorrência de fadiga muscular nos sujeitos em condições térmicas frias, verificou-se que os mesmos perceberam a ocorrência deste evento fisiológico, pois descreveram sentimentos gerais de diminuição de força, e sensações corporais que podem resultar de trabalho dinâmico, e em certa medida representar um sinal de exaustão metabólica.

Brody, Pollock, Roy, De Luca, & Celli, (1991) demonstraram (*in vitro*) que a diminuição do pH determina a redução da MFCV, e consequentemente a diminuição da MDF. Deste modo a redução

da MDF, nos períodos de tempo anteriormente mencionados, também pode ser explicada por este facto.

Bosch, De Looze, & Van Dieen, (2007) identificaram que os trabalhadores sujeitos ao ritmo de trabalho de uma linha de produção, em que existe o movimento de levantar os braços frequentemente, apresentam indícios do estabelecimento de fadiga muscular no trapézio direito de uma forma mais proeminente do que em trabalhadores que executam tarefas manuais leves, quando não exista um intenso ritmo de trabalho e que permita a realização de pausas curtas, pela observação conjunta do aumento de VE e diminuição da MDF. Deste modo, trabalhadores que executam funções em ambientes laborais com características semelhantes ao do presente estudo, tais como tarefas que envolvam movimentos repetitivos (B.A. Silverstein, L.J. Fine, & T.J. Armstrong, 1986), postura inadequada (P. Madeleine, Lundager, Voigt, & Arendt-Nielsen, 1999) e frio (J. Oksa, 2002; J. Oksa, M. B. Ducharme, & H. Rintamäki, 2002), levam a um nível perigoso de fadiga muscular, contribuindo assim para o desenvolvimento de LME.

No que diz respeito a condições térmicas neutras, a diferença da MDF entre 460 e 900 segundos tende a ser relativamente menor quando comparada com o ambiente térmico frio. Isto pode indicar uma tendência para os músculos não sentirem proeminentemente a fadiga, ou que a resposta a este evento pode ter sido afetada por fatores que contrariaram a diminuição da MDF, como aumento do recrutamento de fibras tipo II e de unidades motoras adicionais do tipo I, aumento da MFCV (Hägg & Kadefors, 1996; Kupa, Roy, Kandarian, & De Luca, 1995). Apesar da não ocorrência de fadiga muscular ou do menor estado desta nos indivíduos expostos a condições térmicas neutras, alguns descreveram sintomas de fadiga subjetiva (Hägg & Kadefors, 1996), como sensação de estar sobrecarregado de trabalho, falta de preocupação, indiferença, passividade e preguiça.

No que diz respeito à interpretação dos valores da MDF do presente estudo, é necessário considerar que este indicador de fadiga é influenciado pelas alterações no recrutamento das unidades motoras e tamanho destas unidades, assim como pelas alterações na forma e duração do potencial de ação e da MFCV. Consequentemente a compreensão e interpretação deste parâmetro em termos de mecanismo fisiológico não é simples.

5.2 Avaliação da força pelo dinamómetro

A mensuração da força (kgf) por dinamometria é utilizada para determinar a força máxima das extremidades superiores (Bohannon, 1998).

No que diz respeito à análise comparativa do presente estudo (Tabela 10) com o estudo de (Crosby & Wehbé, 1994), tendo em conta o género, verificou-se que os valores médios de força estimados são inferiores. Os resultados obtidos podem eventualmente ser justificados pelo tamanho amostral e pelas diferentes características físicas dos indivíduos.

No presente estudo não se constatou diferenças significativas ($p > 0,05$) de força antes e após a exposição a diferentes condições térmicas. Porém existe uma tendência para a força média antes da exposição a um ambiente térmico frio ser inferior à força média depois da exposição às mesmas condições térmicas. Tal facto é explicado pelo enquadramento da tarefa desempenhada pelos sujeitos como uma aquecimento, em que o mesmo resulta num aumento da força de preensão máxima (Marion & Niebuhr, 1992). No entanto verifica-se o resultado oposto em condições térmicas neutras, o que pode evidenciar a presença de fadiga muscular, já que há um declínio na geração de força (Cifrek, Medved, Tonković, & Ostojić, 2009; Powers & Howley, 2003).

Segundo (Bohannon, Peolsson, Massy-Westropp, Desrosiers, & Bear-Lehman, 2006; Günther, Bürger, Rickert, Crispin, & Schulz, 2008) existe uma forte correlação positiva entre a idade e a força máxima isométrica, em que o auge é atingido na faixa etária 25 a 39 anos. Com o aumento da idade existe uma tendência para uma diminuição gradual da força devido à perda de massa muscular (Günther et al., 2008).

Não se verificou uma correlação significativa entre a idade e a força máxima isométrica. Contudo, identificou-se uma tendência entre estas variáveis antes da exposição a um ambiente térmico neutro, em que quando a idade aumenta a força aumenta. Bohannon, Peolsson, Massy-Westropp, Desrosiers, & Bear-Lehman (2006) e Günther, Bürger, Rickert, Crispin, & Schulz (2008) identificaram uma correlação forte entre as mesmas variáveis, sendo importante não esquecer que pode eventualmente ser devido à utilização de uma metodologia diferente e ao tamanho amostral.

Segundo Günther, Bürger, Rickert, Crispin, & Schulz (2008), o IMC possui uma correlação positiva com a força máxima isométrica dos participantes. Tal facto não se verifica neste estudo, uma vez que a correlação identificada foi moderada negativa, significando que participantes com um IMC elevado terão uma menor força máxima isométrica.

5.3 Avaliação da percepção dos voluntários

A resposta mais frequente em todas as expressões do questionário (moda) é o 0, que corresponde “a não de todo”. Isto significa que maioritariamente os indivíduos não experimentaram aquela sensação no final da realização da tarefa.

Pela análise da Tabela 12, na exposição ao ambiente térmico frio identificou-se uma tendência para os indivíduos se sentirem maioritariamente com rigidez articular (2), com dor (2), e a respirar com dificuldade (1). Os indivíduos, na exposição a um ambiente térmico neutro, sentiram-se maioritariamente sobrecarregados (1), falta de preocupação (1), indiferentes (1) e com preguiça (1).

Dado que uma percentagem considerável dos indivíduos, num ambiente térmico frio, considerou que se sentia “Com muito frio” (30,8%) e “Com um pouco de frio” (61,5%) na análise do questionário *Análise das Condições Térmicas nos Locais de Trabalho*, significa que podia existir frio em excesso (segundo a percepção dos trabalhadores) podendo aumentar a fadiga provocada pelo efeito combinado da exposição a um ambiente térmico frio e da execução de trabalho repetitivo (Juha Oksa et al., 2002). Assim as expressões “dor” e “rigidez articular” são as mais frequentes. A exposição a um ambiente frio pode causar sensações desagradáveis e desconforto térmico, como se verifica neste estudo pela análise dos questionários aplicados aos participantes. Perante este facto, a sensação *dor* é dada como uma das expressões mais referidas, já que segundo (Aasmoe, Bang, Egeness, & Løchen, 2008; Juha Oksa et al., 2002; Piedrahíta, Punnett, & Shahnava, 2004; Rintamäki, Korhonen, Rissanen, Oksa, & Pienimäki, 2001) é um fator de risco relacionado com ambientes frios, sendo mais frequente nas mãos, braços, pescoço e ombros. Assim, este fator pode provocar LME nas indústrias de processamento de alimentos, uma vez que os sintomas deste tipo de lesões estão associados à diminuição da temperatura cutânea (Rintamäki et al., 2001). A temperatura cutânea é um parâmetro fisiológico relevante para ambientes térmicos frios, na caracterização da sensação térmica do corpo humano (ISO 9886, 2004). A variação deste indicador é mais significativa em ambientes térmicos frios (ISO 9886, 2004) e no género (Erja Sormunen et al., 2009).

A tolerância dos voluntários aos diferentes ambientes térmicos pode ter sido condicionada por vários fatores, tais como a idade (Inoue and Shibasaki, 1996), a capacidade aeróbica (Åstrand, 2003), a adiposidade (Mondelo, 1999), o vestuário (Mondelo, 1999), a medicação (OSHS, 1997), a alimentação (Sawka et al., 2007), a aclimação (Pandolf & Burr, 2002), e ainda por fatores comportamentais (Schlader et al., 2009).

A expressão “a respirar com dificuldade” também foi referida pelos participantes que realizaram a tarefa de embalamento de queijos num ambiente térmico frio e que apresentaram evidências de fadiga muscular, assim como as restantes expressões identificadas anteriormente.

A exposição ocupacional ao frio pode desencadear problemas respiratórios, como episódios asmáticos, através da inalação de ar frio, o que pode provocar a diminuição do desempenho

(Mäkinen, 2007). Este facto é agravado pelo fator idade, sendo mais frequente no género feminino (Koskela, 2007)

No estudo desenvolvido por (Elizabeth Ahsberg et al., 1997), as expressões mais frequentes foram “suado”, “sem fôlego”, “a respirar com dificuldade” e “palpitações”. Por conseguinte, pode-se concluir que os resultados obtidos por estes autores foram diferentes deste estudo. É necessário ter em conta que no estudo de Elizabeth Ahsberg et al. (1997), o questionário foi aplicado após os indivíduos realizarem um exercício num ciclo ergómetro, com o objetivo de estimar a capacidade de trabalho máxima de cada um. Tal facto não ocorreu neste estudo, tendo-se desenvolvido em condições térmicas diferentes.

No que concerne ao ambiente térmico frio, as dimensões assinaladas mais frequentemente com a resposta 6 foram o desconforto físico (6,14%) e esforço físico (1,54%). Por outro lado verificou-se que a dimensão falta de energia, esforço físico e falta de motivação foram as que obtiveram menores resultados (0%), enquanto na exposição a um ambiente térmico neutro as dimensões assinaladas mais frequentemente com a resposta 6 foram falta de motivação (3,07%) e sonolência (1,54%).

Quanto aos resultados obtidos na exposição a um ambiente térmico neutro, os participantes descreveram sentimentos gerais de exclusão ou de entusiasmo e de sonolência. No estudo efetuado no ambiente térmico frio averiguou-se que os indivíduos descreveram essencialmente sensações corporais locais que podem resultar de trabalho estático ou isométrico, sentimentos gerais de diminuição de força, e por fim sensações corporais que podem resultar de trabalho dinâmico, e em certa medida representar um sinal de exaustão metabólica. Os resultados eram esperados dado que o trabalho desenvolvido pelos indivíduos é dinâmico e estático (Åhsberg, 1996).

(Sundelin & Hagberg, 1992) realizaram um estudo em que os indivíduos realizavam durante uma hora uma determinada tarefa de pegar e colocar com o braço direito um objeto. Neste estudo demonstraram, em laboratório, que a ocorrência de fadiga muscular pode ser avaliada pelo aumento de amplitude (por exemplo, VE) e diminuição da MDF. Provaram também que esta pode ser percecionada pelos indivíduos que a experimentam, pois encontraram uma relação significativa, o que vai de encontro aos resultados encontrados no presente estudo.

Assim, a ocorrência de fadiga muscular associada a um ambiente térmico frio poderá promover problemas de segurança e saúde em contexto ocupacional, como o aumento da probabilidade de acidentes e gravidade das doenças (Holmér, 1994), devido a uma diminuição da concentração e do rendimento no trabalho, como se verificou no presente estudo. Isto porque se identificou de forma mais acentuada a fadiga muscular pelo parâmetro MDF, assim como VE e foi descrito pelos indivíduos sintomatologia específica da ocorrência desta, que representam um sinal de exaustão metabólica. Esta poderá ainda a longo prazo provocar LMERT (Ma, Zhang, et al., 2009a).

6 CONCLUSÕES E PERSPETIVAS FUTURAS

6.1 Conclusões

A fadiga muscular é um fenómeno comum em ambientes de trabalho com tarefas que envolvam esforço energético, movimentos repetitivos, posturas inadequadas e ambientes térmicos frios, como por exemplo a Indústria Alimentar, podendo a longo prazo causar LME.

Na avaliação da fadiga muscular por sEMG, constatou-se que num ambiente frio o lado dominante (direito) ao final tarefa encontrava-se em fadiga ($p < 0,05$), uma vez que ocorreu uma diminuição da MDF e aumento do VE (μV) em 84,62% dos participantes ao longo tarefa.

Não se verificaram diferenças significativas entre os dois trapézios ($p > 0,05$). No entanto identificou-se que o trapézio do lado dominante apresenta tendencialmente um menor grau de fadiga muscular do que o músculo do lado não dominante, no que concerne à análise do parâmetro MDF. Esta tendência não foi identificada na análise individual do VE.

No presente estudo não se verificaram diferenças significativas ($p > 0,05$) de força antes e após a exposição a diferentes condições térmicas.

Em relação à perceção das condições térmicas pelos trabalhadores, estes referiram a sensação neutra como a mais sentida e uma tendência para a preferência por manter as mesmas condições térmicas. No que diz respeito ao ambiente térmico frio, estes referiram a sensação desagradável como a mais sentida e uma tendência para a preferência por condições térmicas mais satisfatórias, o que pode evidenciar a existência de stresse térmico, no ambiente térmico frio.

Relativamente à perceção da fadiga muscular, a dimensão mais mencionada pelos indivíduos foi o desconforto físico e falta de motivação nos ambientes térmicos frios e neutros respetivamente.

Por conseguinte a fadiga muscular associada a um ambiente térmico frio poderá promover LMERT, e ainda ocasionar problemas de segurança e saúde dos trabalhadores, como o aumento da probabilidade de acidentes e gravidade das doenças. Pode-se ainda verificar mudanças de comportamento, diminuição da concentração e do rendimento no trabalho.

O presente estudo deparou-se com algumas limitações que o dificultaram e condicionaram a sua validade externa. Exemplo disso é o reduzido tamanho da amostra ($N = 13$), que contribuiu para uma diminuição da precisão na aplicação dos testes estatísticos, obrigando, com o objetivo de obter uma maior confiança nos resultados, a recorrer a testes não paramétricos. Outros exemplos são a impossibilidade de avaliar a temperatura cutânea dos indivíduos, a escassez do tempo para a realização das avaliações, a não normalização dos envelopes lineares para os valores de CMV correspondentes, e a validação do questionário SOFI para a língua portuguesa, que não foi possível realizar neste estudo.

6.2 Perspetivas Futuras

A fadiga muscular encontra-se relacionada com as LME, uma vez que esta reduz a potência muscular, induzindo desconforto e dor, e a longo prazo contribuem para as LME. Tendo em consideração este facto recomenda-se que numa primeira fase da investigação, em que é necessário verificar quais os postos de trabalho, na indústria a avaliar, com risco de exposição a esforços e movimentos repetitivos. Existem vários métodos que o próprio investigador poderá aplicar por observação direta, como o método *Occupational Repetitive Actions (OCRA) checklist* em conjunto com a escala de *Borg* ou o *Rapid upper limb assessment (RULA)*. O método OCRA Checklist é um indicador usado para avaliação da exposição dos membros superiores a movimentos repetitivos (Serranheira, Uva & Lopes, 2008), cujo o principal objetivo é a avaliação do risco de LMERT ao nível dos membros superiores em situações de trabalho repetitivo (Occhipinti, 1998). A grelha

OCRA checklist permite obter um conjunto de informações sobre a organização e sobre o posto de trabalho. Através da sua aplicação pode-se estimar o nível de risco do posto de trabalho para os trabalhadores que aí desempenham a sua atividade durante todo o turno de trabalho, classificando-o em quatro grandes níveis: ausente, borderline, presente e elevado. Este método quantitativo avalia os seguintes fatores de risco: tempo de recuperação, frequência de ação, força, postura e fatores adicionais (este grupo inclui utilização de luvas inadequadas, utilização das mãos como ferramenta para percutir com uma frequência igual ou superior a 2 vezes por minuto, utilização das mãos como se de um martelo se tratasse para percutir com uma frequência de 10 ou mais vezes por hora, etc) (Serranheira, Uva & Lopes, 2008).

O RULA um método de avaliação e de observação integrada do risco de LME do membro superior. A observação incide sobretudo na postura adotada pelo trabalhador durante a realização da sua atividade laboral. Numa perspetiva epidemiológica da incidência de LME, este permite obter uma classificação para estabelecer uma prioridade de intervenção no posto de trabalho (Serranheira, Uva, & Lopes, 2008)

No seguimento do trabalho desenvolvido no presente estudo e como perspetiva futura sugere-se ainda o seguinte:

- Aplicar o presente estudo a um contexto real de uma Indústria Alimentar, de forma a comparar estes os resultados com os obtidos em trabalhadores na realização das suas atividades ocupacionais. Deste modo, poder-se-á verificar num contexto real as consequências da fadiga muscular e a sua associação a um ambiente térmico frio. Consequentemente permitirá verificar a incidência das LMERT, o aumento da probabilidade de acidentes e gravidade das doenças e constatar mudanças de comportamento, diminuição da concentração e do rendimento no trabalho;
- Tendo em conta a indústria onde será realizado o estudo, poder-se-á comparar as posições de pé e sentado verificando se existe diferenças significativas nos resultados obtidos;
- Aplicar os questionários em termos de consistência temporal, isto é, deverão ser administrados no início do turno e no final, para avaliar se existem discrepâncias entre este intervalo de tempo;
- Implementar programas de ginástica laboral e verificar a eficácia dos mesmos na redução das LME e consequentemente da fadiga muscular;
- O instrumento SOFI, aplicado neste estudo, é uma adaptação de um instrumento já existente na língua inglesa para a língua portuguesa, carecendo de validação, dado que não foi possível realizar esta etapa durante o estudo;
- Avaliar a temperatura cutânea, dado que é parâmetro fisiológico de suma importância para ambientes térmicos frios, na caracterização da sensação térmica do corpo humano;
- Avaliar a temperatura interna do corpo dos voluntários. As medições devem ser realizadas quando existir o consentimento informado do indivíduo alvo de avaliação, e a segurança de que as medições não apresentam risco para o indivíduo tendo em consideração os códigos de ética gerais ou específicos (ISO 9886, 2004). A técnica de medição a selecionar deve avaliar a temperatura rectal, por exemplo a ingestão do Termómetro Ingerível. Esta é uma das mais utilizadas, dado que é praticável (Parson 2003), sendo ainda considerada “*gold standard*” da medição da temperatura interna. O Termómetro Ingerível deve ser aplicado no mínimo 8 horas antes do início do ensaio, para permitir a progressão deste no tubo digestivo. O sinal recebido por este deve ser registado continuamente (ISO 9886, 2004);
- Avaliar a exposição a stresse térmico através da aplicação de índices de stresse térmico como o IREQ e Modelos de Previsão do Arrefecimento das Mãos
- Realizar a normalização dos envelopes lineares resultantes da retificação da onda do sinal para os valores de CMV correspondentes;

- A amostra deverá ser de maiores dimensões e abranger outras indústrias para caracterizar o setor alimentar.

7 BIBLIOGRAFIA

- Aasmoe, L., Bang, B., Egeness, C., & Løchen, M.-L. (2008). Musculoskeletal symptoms among seafood production workers in North Norway. *Occupational Medicine*, 58(1), 64-70. doi: 10.1093/occmed/kqm136
- Adam, A., De Luca, C. J., & Erim, Z. (1998). Hand dominance and motor unit firing behavior. *Journal of neurophysiology*, 80(3), 1373-1382.
- Åhsberg, E., & Gamberale, F. (1998). Perceived fatigue during physical work: an experimental evaluation of a fatigue inventory. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 21(2), 117-131. doi: 10.1016/s0169-8141(96)00071-6
- Ahsberg, E., Gamberale, F., & Gustafsson, K. (2000). Perceived fatigue after mental work: an experimental evaluation of a fatigue inventory. *Ergonomics*, 43(2), 252-268. doi: 10.1080/001401300184594
- Ahsberg, E., Gamberale, F., & Kjellberg, A. (1997). Perceived quality of fatigue during different occupational tasks: development of a questionnaire. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 20, 121-135.
- Åhsberg, E., Kecklund, G., Åkerstedt, T., & Francesco, G. (2000). Shiftwork and different dimensions of fatigue. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 26(4), 457-465. doi: 10.1016/s0169-8141(00)00007-x
- Åhsberg, E., & universitet, S. (1998). *Perceived fatigue related to work*: Arbetslivsinstitutet.
- Al-Mulla, M. R. (2012, 12-13 Sept. 2012). *Evolutionary computation extracts a super sEMG feature to classify localized muscle fatigue during dynamic contractions*. Paper presented at the Computer Science and Electronic Engineering Conference (CEECE), 2012 4th.
- Åstrand, P.-O. (2003). *Textbook of work physiology: physiological bases of exercise*: Human Kinetics.
- Barbero, M., Gatti, R., Conte, L. L., Macmillan, F., Coutts, F., & Merletti, R. (2011). Reliability of surface EMG matrix in locating the innervation zone of upper trapezius muscle. *Journal of electromyography and kinesiology*, 21(5), 827-833.
- Bergh, U., & Ekblom, B. (1979). Influence of muscle temperature on maximal muscle strength and power output in human skeletal muscles. *Acta Physiologica Scandinavica*, 107(1), 33-37. doi: 10.1111/j.1748-1716.1979.tb06439.x
- Bernard, B. P. (1997). Musculoskeletal disorders and workplace factors: a critical review of epidemiologic evidence for work-related musculoskeletal disorders of the neck, upper extremity, and low back *Musculoskeletal disorders and workplace factors: a critical review of epidemiologic evidence for work-related musculoskeletal disorders of the neck, upper extremity, and low back*: NIOSH.
- Bigland-Ritchie, B., et al. (1992). Muscle temperature, contractile speed and motor neuron firing rates during human voluntary contractions. *Journal of Applied Physiology*, 73(6), 2457-2461.
- Binder-Macleod, S. A., & Russ, D. W. (1999). Effects of activation frequency and force on low-frequency fatigue in human skeletal muscle. *Journal of Applied Physiology*, 86(4), 1337-1346.
- Binder-Macleod, S. A., & Russ, D. W. (1999). Effects of activation frequency and force on low-frequency fatigue in human skeletal muscle. *J Appl Physiol*, 86(4), 1337-1346.
- Bohannon, R. W. (1998). Hand-grip dynamometry provides a valid indication of upper extremity strength impairment in home care patients. *Journal of Hand Therapy*, 11(4), 258-260.
- Bohannon, R. W., Peolsson, A., Massy-Westropp, N., Desrosiers, J., & Bear-Lehman, J. (2006). Reference values for adult grip strength measured with a Jamar dynamometer: a descriptive meta-analysis. *Physiotherapy*, 92(1), 11-15.
- Bongers, P. M., de Winter, C. R., Kompier, M. A., & Hildebrandt, V. H. (1993). Psychosocial factors at work and musculoskeletal disease. *Scandinavian journal of work, environment & health*.
- Borg, G. (1970). Perceived exertion as an indicator of somatic stress. *Scand J Rehabil Med*, 2(2), 92-98.
- Borg, G. (1998). *Borg's Perceived exertion and pain scales*: Human Kinetics.
- Bosch, T., De Looze, M., Kingma, I., Visser, B., & Van Dieen, J. (2009). Electromyographical manifestations of muscle fatigue during different levels of simulated light manual assembly work. *Journal of electromyography and kinesiology*, 19(4), e246-e256.

- Bosch, T., De Looze, M., & Van Dieen, J. (2007). Development of fatigue and discomfort in the upper trapezius muscle during light manual work. *Ergonomics*, 50(2), 161-177.
- Brody, L., Pollock, M. T., Roy, S. H., De Luca, C., & Celli, B. (1991). pH-induced effects on median frequency and conduction velocity of the myoelectric signal. *J Appl Physiol*, 71(5), 1878-1885.
- Brooks, G., Fahey, T. & Baldwin, K. (2005). Exercise physiology: human bioenergetics and its applications. New York: McGraw-Hill, 2005.
- Buckle, P., Devereux, J., & European Agency for Safety and Health at, W. (1999). *Work-related neck and upper limb musculoskeletal disorders*: Office for Official Publications of the European Communities.
- Byström, S. E., Mathiassen, S. E., & Fransson-Hall, C. (1991). Physiological effects of micropauses in isometric handgrip exercise. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 63(6), 405-411.
- Campbell, I. (2008). Body temperature and its regulation. *Anaesthesia & Intensive Care Medicine*, 9(6), 259-263.
- Chad, K. E., & Brown, J. M. M. (1995). Climatic stress in the workplace: Its effect on thermoregulatory responses and muscle fatigue in female workers. *Applied Ergonomics*, 26(1), 29-34. doi: 10.1016/0003-6870(95)95749-p
- Chaffin, D. B., Andersson, G., & Martin, B. J. (2006). *Occupational biomechanics*: Wiley-Interscience.
- Chin, E. R., Balnave, C. D., & Allen, D. G. (1997). Role of intracellular calcium and metabolites in low-frequency fatigue of mouse skeletal muscle. *Am J Physiol*, 272(2 Pt 1), C550-559.
- Cifrek, M., Medved, V., Tonković, S., & Ostojić, S. (2009). Surface EMG based muscle fatigue evaluation in biomechanics. *Clinical biomechanics*, 24(4), 327-340. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.clinbiomech.2009.01.010>
- Corlett, E. N., & Bishop, R. P. (1976). A technique for assessing postural discomfort. *Ergonomics*, 19(2), 175-182. doi: 10.1080/00140137608931530
- Corlett, E. N., & Clark, T. S. (1995). *The evaluation of posture and its effects. Evaluation of Human Work*. (2nd ed. ed.). London: Taylor and Francis.
- Crosby, C. A., & Wehbé, M. A. (1994). Hand strength: normative values. *The Journal of hand surgery*, 19(4), 665-670.
- David, G. (2005). Ergonomic methods for assessing exposure to risk factors for work-related musculoskeletal disorders. *Occupational Medicine*, 55(3), 190-199.
- Davies, C., & Young, K. (1983). Effect of temperature on the contractile properties and muscle power of triceps surae in humans. *Journal of Applied Physiology*, 55(1), 191-195.
- Davis, J. M. (1995). Central and peripheral factors in fatigue. *Journal of Sports Sciences*, 13(sup1), S49-S53. doi: 10.1080/02640419508732277
- Davis, J. M., & Bailey, S. P. (1997). Possible mechanisms of central nervous system fatigue during exercise. *Med Sci Sports Exerc*, 29(1), 45-57.
- de Ketele, J. M., & Roegiers, X. (1999). *Metodologia da recolha de dados: fundamentos dos métodos de observações, de questionários, de entrevistas, e de estudo de documentos*: Instituto Piaget.
- De Luca, C. J. (1997). The use of surface electromyography in biomechanics. *Journal of applied biomechanics*, 13, 135-163.
- De Luca, C. J., Sabbahi, M. A., & Roy, S. H. (1986). Median frequency of the myoelectric signal. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 55(5), 457-464.
- De Ruitter, C., & De Haan, A. (2001). Similar effects of cooling and fatigue on eccentric and concentric force-velocity relationships in human muscle. *Journal of Applied Physiology*, 90(6), 2109-2116.
- Drost, G., Stegeman, D. F., van Engelen, B. G., & Zwarts, M. J. (2006). Clinical applications of high-density surface EMG: A systematic review. *Journal of electromyography and kinesiology*, 16(6), 586-602.
- Enoka, R. M., & Stuart, D. G. (1992). Neurobiology of muscle fatigue. *J Appl Physiol*, 72(5), 1631-1648.
- Enoka, R. M., & Stuart, D. G. (1992). Neurobiology of muscle fatigue. *J Appl Physiol*, 72(5), 1631-1648.
- EASHW. (2010). OSH in figures: Work-related musculoskeletal disorders in the EU-facts and figures. Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities.

- Farina, D., Fosci, M., & Merletti, R. (2002). Motor unit recruitment strategies investigated by surface EMG variables. *Journal of Applied Physiology*, 92(1), 235-247.
- Farina, D., Madeleine, P., Graven-Nielsen, T., Merletti, R., & Arendt-Nielsen, L. (2002). Standardising surface electromyogram recordings for assessment of activity and fatigue in the human upper trapezius muscle. *European journal of applied physiology*, 86(6), 469-478.
- Faulkner, J. A., Zerba, E., & Brooks, S. V. (1990). Muscle temperature of mammals: cooling impairs most functional properties. *American Journal of Physiology - Regulatory, Integrative and Comparative Physiology*, 259(2), R259-R265.
- Favero, T. G. (1999). Sarcoplasmic reticulum Ca(2+) release and muscle fatigue. *J Appl Physiol*, 87(2), 471-483.
- Fitts, R. H. (2008). The cross-bridge cycle and skeletal muscle fatigue. *Journal of Applied Physiology*, 104(2), 551-558.
- Frisancho, A. R. (1993). *Human Adaptation and Accommodation*: University of Michigan Press.
- Fukuda, T. Y., Echeimberg, J. O., Pompeu, J. E., Lucareli, P. R. G., Garbelotti, S., Gimenes, R. O., & Apolinário, A. (2010). Root mean square value of the electromyographic signal in the isometric torque of the quadriceps, hamstrings and brachial biceps muscles in female subjects. *J Appl Res*, 10, 32-39.
- Gamberale, F. (1972). Perceived exertion, heart rate, oxygen uptake and blood lactate in different work operations. *Ergonomics*, 15(5), 545-554.
- Gandevia, S. (2001). Spinal and supraspinal factors in human muscle fatigue. *Physiological reviews*, 81(4), 1725-1789.
- Gerdle, B., & FUGL-MEYER, A. (1992). Is the mean power frequency shift of the EMG a selective indicator of fatigue of the fast twitch motor units? *Acta Physiologica Scandinavica*, 145(2), 129-138.
- González Gutiérrez, J. L., Jiménez, B. M., Hernández, E. G., & López López, A. (2005). Spanish version of the Swedish Occupational Fatigue Inventory (SOFI): Factorial replication, reliability and validity. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 35(8), 737-746.
- Green, H. J. (1997). Mechanisms of muscle fatigue in intense exercise. *J Sports Sci*, 15(3), 247-256. doi: 10.1080/026404197367254
- Günther, C. M., Bürger, A., Rickert, M., Crispin, A., & Schulz, C. U. (2008). Grip strength in healthy caucasian adults: reference values. *The Journal of hand surgery*, 33(4), 558-565.
- Hagberg, M., Kuorinka, I., & Forcier, L. (1995). *Les lésions attribuables au travail répétitif, LATR: ouvrage de référence sur les lésions musculo-squelettiques liées au travail*: Multimondes; Irsst; Editions Maloine.
- Hägg, G., & Kadefors, R. (1996). EMG alterations at sustained contractions with special emphasis on applications in ergonomics. *Kumar S, Mital A: Electromyography in ergonomics. Taylor & Francis. London*, 163-182.
- Havenith, G., Holmér, I., & Parsons, K. (2002). Personal factors in thermal comfort assessment: clothing properties and metabolic heat production. *Energy and Buildings*, 34(6), 581-591. doi: [http://dx.doi.org/10.1016/S0378-7788\(02\)00008-7](http://dx.doi.org/10.1016/S0378-7788(02)00008-7)
- Hermens, H. J., Freriks, B., Merletti, R., Stegeman, D., Blok, J., Rau, G., . . . Hägg, G. (1999). European recommendations for surface electromyography. *Roessingh Research and Development, Enschede*.
- Holmér, I. (1994). Cold stress: Part I—Guidelines for the practitioner. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 14(1), 139-149.
- Holmér, I. (2000). Cold stress: Part II-The scientific basis (knowledge base) for the guide. *Ergonomics Guidelines and Problem Solving. Amsterdam: Elsevier Ergonomics Book Series*, 1, 357-365.
- Holmér, I. (2009). Evaluation of cold workplaces: An overview of standards for assessment of cold stress. *Industrial health*, 47(3), 228-234.
- Hong, Y., Li, J.-X., & Fong, D. T.-P. (2008). Effect of prolonged walking with backpack loads on trunk muscle activity and fatigue in children. *Journal of electromyography and kinesiology*, 18(6), 990-996. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jelekin.2007.06.013>
- ISO10551:1995, “Ergonomics of the thermal environment – Assessment of the influence of the thermal environment using subjective judgment scales.” International Standard, First Edition, International Organization for Standardization (ISO), Genève, Switzerland.
- ISO 9886. (2004). Ergonomics - Evaluation of thermal strain by physiological measurements. Genève, Switzerland: International Organization for Standardization.

- Ipate, M. C. (2011). *Analysis of electromyography records during voluntary contraction and the identification of specific characteristics of muscular activity*. Paper presented at the Advanced Topics in Electrical Engineering (ATEE), 2011 7th International Symposium on.
- Jay, O., & Kenny, G. (2010). Heat exposure in the Canadian workplace.
- Jones, D. A. (1996). High-and low-frequency fatigue revisited. *Acta Physiol Scand*, 156(3), 265-270.
- Kallenberg, L. A., Schulte, E., Disselhorst-Klug, C., & Hermens, H. J. (2007). Myoelectric manifestations of fatigue at low contraction levels in subjects with and without chronic pain. *Journal of electromyography and kinesiology*, 17(3), 264-274.
- Kao, S. Y. (2003). Carpal tunnel syndrome as an occupational disease. *The Journal of the American Board of Family Practice*, 16(6), 533-542.
- Kao, S. Y. (2003). Carpal tunnel syndrome as an occupational disease. *J Am Board Fam Pract*, 16(6), 533-542. doi: 16/6/533 [pii]
- Kaynakli, O., Unver, U., & Kilic, M. (2003). Evaluating thermal environments for sitting and standing posture. *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 30(8), 1179-1188. doi: [http://dx.doi.org/10.1016/S0735-1933\(03\)00183-0](http://dx.doi.org/10.1016/S0735-1933(03)00183-0)
- Kilby, J., & Prasad, K. (2013). Extracting temporal and spectral parameters from surface electromyography signals during a fatigue contraction.
- Kitahara, T., Schnoz, M., Läubli, T., Wellig, P., & Krueger, H. (2000). Motor-unit activity in the trapezius muscle during rest, while inputting data, and during fast finger tapping. *European journal of applied physiology*, 83(2-3), 181-189.
- Kosaka, M., Yamane, M., Ogai, R., Kato, T., Ohnishi, N., & Simon, E. (2004). Human body temperature regulation in extremely stressful environment: epidemiology and pathophysiology of heat stroke. *Journal of Thermal Biology*, 29(7-8), 495-501. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jtherbio.2004.08.019>
- Koskela, H. O. (2007). Cold air-provoked respiratory symptoms: the mechanisms and management. *International Journal of Circumpolar Health*, 66(2).
- Kovats, R. S., & Hajat, S. (2008). Heat Stress and Public Health: A Critical Review. *Annual Review of Public Health*, 29(1), 41-55. doi: doi:10.1146/annurev.publhealth.29.020907.090843
- Kupa, E., Roy, S., Kandarian, S., & De Luca, C. (1995). Effects of muscle fiber type and size on EMG median frequency and conduction velocity. *Journal of Applied Physiology*, 79(1), 23-32.
- Lewis, G., & Wessely, S. (1992). The epidemiology of fatigue: more questions than answers. *Journal of Epidemiology and Community Health*, 46(2), 92.
- Lewis, G., & Wessely, S. (1992). The epidemiology of fatigue: more questions than answers. *J Epidemiol Community Health*, 46(2), 92-97.
- Luber, G., & Hess, J. (2007). Climate change and human health in the United States. *Perspectives*, 109(2), 199-209.
- Ma, L., Chablat, D., Bennis, F., & Zhang, W. (2009). A new simple dynamic muscle fatigue model and its validation. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 39(1), 211-220.
- Ma, L., Zhang, W., Chablat, D., Bennis, F., & Guillaume, F. (2009a). Multi-objective optimisation method for posture prediction and analysis with consideration of fatigue effect and its application case. *Computers & Industrial Engineering*, 57(4), 1235-1246.
- Ma, L., Zhang, W., Chablat, D., Bennis, F., & Guillaume, F. (2009b). Multi-objective optimisation method for posture prediction and analysis with consideration of fatigue effect and its application case. *Computers & Industrial Engineering*, 57(4), 1235-1246. doi: 10.1016/j.cie.2009.06.003
- Madeleine, P., Leclerc, F., Arendt-Nielsen, L., Ravier, P., & Farina, D. (2006). Experimental muscle pain changes the spatial distribution of upper trapezius muscle activity during sustained contraction. *Clinical neurophysiology*, 117(11), 2436-2445.
- Madeleine, P., Lundager, B., Voigt, M., & Arendt-Nielsen, L. (1999). Shoulder muscle co-ordination during chronic and acute experimental neck-shoulder pain. An occupational pain study. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*, 79(2), 127-140.
- Maier, M., & Ross-Mota, J. (2000). Work-related Musculoskeletal Disorders. Retrieved 15/02/2012, 2012
- Mäkinen, T. M. (2007). Human cold exposure, adaptation, and performance in high latitude environments. *American Journal of Human Biology*, 19(2), 155-164.

- Marion, R., & Niebuhr, B. R. (1992). Effect of warm-up prior to maximal grip contractions. *Journal of Hand Therapy*, 5(3), 143-146.
- Mathiowetz, V. (1990). Effects of three trials on grip and pinch strength measurements. *Journal of Hand Therapy*, 3(4), 195-198.
- McIntyre, D. (1980). *Indoor climate*: Applied science publishers London.
- Merletti, R., Holobar, A., & Farina, D. (2008). Analysis of motor units with high-density surface electromyography. *Journal of electromyography and kinesiology*, 18(6), 879-890.
- Merletti, R., Knaflitz, M., & De Luca, C. J. (1990). Myoelectric manifestations of fatigue in voluntary and electrically elicited contractions. *J Appl Physiol*, 69(5), 1810-1820.
- Merletti, R., Lo Conte, L., & Orizio, C. (1991). Indices of muscle fatigue. *Journal of electromyography and kinesiology*, 1(1), 20-33.
- Merletti, R., & Parker, P. A. (2004). *Electromyography: physiology, engineering, and non-invasive applications* (Vol. 11): John Wiley & Sons.
- Merletti, R., Rainoldi, A., & Farina, D. (2005). Myoelectric Manifestations of Muscle Fatigue *Electromyography* (pp. 233-258): John Wiley & Sons, Inc.
- Miguel, A. S. S. R. *Manual de higiene e segurança do trabalho*: PORTO EDITORA.
- Mizrahi, J., Verbitsky, O., & Isakov, E. (2000). Shock accelerations and attenuation in downhill and level running. *Clin Biomech (Bristol, Avon)*, 15(1), 15-20. doi: S0268-0033(99)00033-9 [pii]
- Mizrahi, J., Verbitsky, O., & Isakov, E. (2001). Fatigue-induced changes in decline running. *Clin Biomech (Bristol, Avon)*, 16(3), 207-212. doi: S0268-0033(00)00091-7 [pii]
- Mondelo, P. R., & Universal, M. (1999). *Ergonomia 2: confort y estrés térmico*: Edicions UPC.
- Nina K, V. (1997). Measurement of human muscle fatigue. *Journal of Neuroscience Methods*, 74(2), 219-227. doi: 10.1016/s0165-0270(97)02251-6
- Occhipinti, E. (1998). OCRA: a concise index for the assessment of exposure to repetitive movements of the upper limbs. *Ergonomics*, 41(9), 1290-1311. doi: 10.1080/001401398186315
- Oksa, J. (2002). Neuromuscular performance limitations in cold. *Int J Circumpolar Health*, 61(2), 154-162.
- Oksa, J., Ducharme, M. B., & Rintamäki, H. (2002). Combined effect of repetitive work and cold on muscle function and fatigue. *Journal of Applied Physiology*, 92(1), 354-361.
- Oksa, J., Ducharme, M. B., & Rintamäki, H. (2002). Combined effect of repetitive work and cold on muscle function and fatigue. *J Appl Physiol*, 92(1), 354-361.
- Oksa, J., Rintamäki, H., & Rissanen, S. (1997). Muscle performance and electromyogram activity of the lower leg muscles with different levels of cold exposure. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 75(6), 484-490.
- Olesen, B. W. (1982). Thermal comfort. *Technical review*, 2, 3-41.
- Pandolf, K. B., & Burr, R. E. (2002). *Medical aspects of harsh environments* (Vol. 2): Government Printing Office.
- Parsons, K. C. (2003). *Human thermal environments: the effects of hot, moderate, and cold environments on human health, comfort, and performance*: CRC Press.
- Piedrahíta, H., Punnett, L., & Shahnavaz, H. (2004). Musculoskeletal symptoms in cold exposed and non-cold exposed workers. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 34(4), 271-278. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ergon.2004.04.008>
- Powers, S. K., & Howley, E. T. (2003). *Exercise Physiology: Theory and Application to Fitness and Performance with Ready Notes and PowerWeb/OLC Bind-in Passcard*: McGraw-Hill Higher Education.
- Riihimäki, H., Kurppa, K., Karjalainen, A., Palo, L., Jolanki, R., Keskinen, H., . . . Kauppinen, T. (2004). Occupational diseases in Finland in 2002. *New cases of occupational diseases reported to the Finnish Register of Occupational Diseases*. Helsinki: Finnish Institute of Occupational Health.
- Rintamäki, H., Korhonen, E., Rissanen, S., Oksa, J., & Pienimäki, T. (2001). *Cold problems and upper limb muscular strain in food processing industry*. Paper presented at the Proceedings of the Australian Physiological and Pharmacological Society.
- Sakurai, T., Toda, M., Sakurazawa, S., Akita, J., Kondo, K., & Nakamura, Y. (2010, 18-20 Aug. 2010). *Detection of Muscle Fatigue by the Surface Electromyogram and Its Application*. Paper presented at the Computer and Information Science (ICIS), 2010 IEEE/ACIS 9th International Conference on.
- Sale, D. G. (1986). Influence of exercise and training on motor unit activation. *Exercise and sport sciences reviews*, 15, 95-151.

- Sanders, M. S., & McCormick, E. J. (1987). *Human factors in engineering and design*: McGRAW-HILL book company.
- Sawka, M. N., Burke, L. M., Eichner, E. R., Maughan, R. J., Montain, S. J., & Stachenfeld, N. S. (2007). American College of Sports Medicine position stand. Exercise and fluid replacement. *Medicine and science in sports and exercise*, 39(2), 377-390.
- Schlader, Z. J., Prange, H. D., Mickleborough, T. D., & Stager, J. M. (2009). Characteristics of the control of human thermoregulatory behavior. *Physiology & Behavior*, 98(5), 557-562. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.physbeh.2009.09.002>
- Schneider, E., Irastorza, X. B., & Copsey, S. (2010). *OSH in figures: Work-related musculoskeletal disorders in the EU-Facts and figures*: Office for Official Publications of the European Communities.
- Schwid, S., Thornton, C., Pandya, S., Manzur, K., Sanjak, M., Petrie, M., . . . Goodman, A. (1999). Quantitative assessment of motor fatigue and strength in MS. *Neurology*, 53(4), 743-743.
- Sejersted, O. M., & Sjøgaard, G. (2000). Dynamics and consequences of potassium shifts in skeletal muscle and heart during exercise. *Physiol Rev*, 80(4), 1411-1481.
- Silva, B., Martinez, F. G., Pacheco, A. M., & Pacheco, I. (2006). Efeitos da fadiga muscular induzida por exercícios no tempo de reação muscular dos fibulares em indivíduos saudáveis. *Rev Bras Med Esporte*, 12(2), 85-89.
- Silverstein, B. A., Fine, L. J., & Armstrong, T. J. (1986). Hand wrist cumulative trauma disorders in industry. *British Journal of Industrial Medicine*, 43(11), 779-784.
- Silverstein, B. A., Fine, L. J., & Armstrong, T. J. (1986). Hand wrist cumulative trauma disorders in industry. *British Journal of Industrial Medicine*, 43, 779-784.
- Soderberg, G. L., & Knutson, L. M. (2000). A guide for use and interpretation of kinesiological electromyographic data. *Physical therapy*, 80(5), 485-498.
- Soo, Y., Sugi, M., Nishino, M., Yokoi, H., Arai, T., Kato, R., . . . Ota, J. (2009). *Quantitative estimation of muscle fatigue using surface electromyography during static muscle contraction*. Paper presented at the Engineering in Medicine and Biology Society, 2009. EMBC 2009. Annual International Conference of the IEEE.
- Sormunen, E., Oksa, J., Pienimäki, T., Rissanen, S., & Rintamäki, H. (2006). Muscular and cold strain of female workers in meatpacking work. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 36(8), 713-720.
- Sormunen, E., Rissanen, S., Oksa, J., Pienimäki, T., Remes, J., & Rintamäki, H. (2009). Muscular activity and thermal responses in men and women during repetitive work in cold environments. *Ergonomics*, 52(8), 964-976. doi: 10.1080/00140130902767413
- Sousa, Jerónimo, Mota, Andreia, Gomes, António Teixeira, & Barros, Carla. (2008). Doenças e Acidentes em Portugal, Da relação com deficiências e incapacidades. Vila nova de Gaia: CRPG - Centro de Reabilitação Profissional de Gaia.
- Sousa, A. S. P. (2010). *Controlo Postural e Marcha Humana: Análise Multifatorial*. (Doutoramento), Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto.
- Ergonomics - Evaluation of thermal strain by physiological measurements. (2004).
- Stulen, F. B., & De Luca, C. J. (1981). Frequency parameters of the myoelectric signal as a measure of muscle conduction velocity. *Biomedical Engineering, IEEE Transactions on*(7), 515-523.
- Sundelin, G., & Hagberg, M. (1992). Electromyographic signs of shoulder muscle fatigue in repetitive arm work paced by the Methods-Time Measurement system. *Scand J Work Environ Health*, 18(4), 262-268.
- Supinsky, G., Nethery, D., & DiMarco, A. (1999). Extracellular calcium modulates generation of reactive oxygen species by contracting diaphragm. *J Appl Physiol*, 87(6), 2177-2185.
- SUURKÜLA, J., & HÄGG, G. M. (1987). Relations between shoulder/neck disorders and EMG zero crossing shifts in female assembly workers using the test contraction method. *Ergonomics*, 30(11), 1553-1564.
- Szeto, G. P. Y., Straker, L. M., & O'Sullivan, P. B. (2005). EMG median frequency changes in the neck-shoulder stabilizers of symptomatic office workers when challenged by different physical stressors. *Journal of electromyography and kinesiology*, 15(6), 544-555.
- Ting, L. H. (2007). Dimensional reduction in sensorimotor systems: a framework for understanding muscle coordination of posture. *Progress in brain research*, 165, 299-321.
- Trabalho, A. E. p. a. S. e. a. S. n. *Manutenção segura - Indústria Alimentar e de bebidas (E-FACTS:52)*.

- Troiano, A., Naddeo, F., Sosso, E., Camarota, G., Merletti, R., & Mesin, L. (2008). Assessment of force and fatigue in isometric contractions of the upper trapezius muscle by surface EMG signal and perceived exertion scale. *Gait & posture*, 28(2), 179-186.
- Uva, A. S., Carnide, F., Serranheira, F., Miranda, L. C., & Lopes, M. F. (2008). Guia de orientação para prevenção das lesões musculoesqueléticas relacionadas com o trabalho: programa nacional contra as doenças reumáticas. Lisboa: Direção-Geral da Saúde.
- Van Someren, E. J. W., Raymann, R. J. E. M., Scherder, E. J. A., Daanen, H. A. M., & Swaab, D. F. (2002). Circadian and age-related modulation of thermoreception and temperature regulation: mechanisms and functional implications. *Ageing Research Reviews*, 1(4), 721-778. doi: [http://dx.doi.org/10.1016/S1568-1637\(02\)00030-2](http://dx.doi.org/10.1016/S1568-1637(02)00030-2)
- Vincent, M., & Tipton, M. (1988). The effects of cold immersion and hand protection on grip strength. *Aviation, Space, and Environmental Medicine*, 59(8), 738-741.
- Voloshin, A. S., Mizrahi, J., Verbitsky, O., & Isakov, E. (1998). Dynamic loading on the human musculoskeletal system -- effect of fatigue. *Clin Biomech (Bristol, Avon)*, 13(7), 515-520. doi: S0268-0033(98)00030-8 [pii]
- Wessely, S., Hotopf, M., & Sharpe, M. (1998). *Chronic fatigue and its syndromes*: Oxford University Press Oxford.
- Westerblad, H., & Allen, D. G. (2003). Cellular mechanisms of skeletal muscle fatigue *Molecular and Cellular Aspects of Muscle Contraction* (pp. 563-571): Springer.
- Wheeler, D. (2006). Temperature regulation. *Surgery (Oxford)*, 24(12), 446-451. doi: <http://dx.doi.org/10.1053/j.mpsur.2006.10.001>
- Wiktorin, C., Karlqvist, L., & Winkel, J. (1993). Validity of self-reported exposures to work postures and manual materials handling. *Scandinavian Journal of Work, Environment and Health*, 19, 208-214.
- Yona, M. (1997). Effects of cold stimulation of human skin on motor unit activity. *The Japanese journal of physiology*, 47(4), 341-348.
- Zwarts, M., Bleijenberg, G., & Van Engelen, B. (2008). Clinical neurophysiology of fatigue. *Clinical neurophysiology*, 119(1), 2-10.

8 ANEXOS

8.1 Anexo I - Questionário *Swedish Occupational Fatigue Inventory*



Questionário de âmbito académico, para realização de estudo de investigação no âmbito da fadiga muscular

Sou aluna do 2º ano do Mestrado de Engenharia de Segurança e Higiene Ocupacional, lecionado na Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, encontro-me a efetuar um estudo de investigação subordinado ao tema “Relação entre a fadiga muscular e ambientes térmicos frios”, pelo que venho por este meio solicitar a sua colaboração no preenchimento deste breve questionário.

O questionário é anónimo, sendo as informações de identificação solicitadas, apenas para fins estatísticos e sendo sempre garantida a confidencialidade dos mesmos.

Desde já agradeço a sua atenção e colaboração.

Rosa Gonçalves,

Junho de 2014

1. Género: M <input type="checkbox"/> F <input type="checkbox"/>	2. Idade: _____	3. Peso: _____	4. Altura _____
4. Categoria Profissional: _____			
5. Local de trabalho: _____		6. Tempo de Serviço: _____	
7. Horário de Trabalho (no dia do preenchimento do questionário): _____			
8. Data (no dia do preenchimento do questionário): _____			

Para cada expressão, responda espontaneamente, e marque o número que corresponde a como se sente agora. Os números variam entre 0 (não de todo) e 6 (a um grau muito elevado).

Esgotado	0	1	2	3	4	5	6
Exausto	0	1	2	3	4	5	6
Falta de concentração	0	1	2	3	4	5	6
Sobrecarregado	0	1	2	3	4	5	6
Palpitações	0	1	2	3	4	5	6
Suado	0	1	2	3	4	5	6
Sem fôlego	0	1	2	3	4	5	6
Respirar com dificuldade	0	1	2	3	4	5	6
Músculos tensos	0	1	2	3	4	5	6
Dormência	0	1	2	3	4	5	6
Rigidez articular	0	1	2	3	4	5	6
Dor	0	1	2	3	4	5	6
Falta de preocupação	0	1	2	3	4	5	6
Passivo	0	1	2	3	4	5	6
Indiferente	0	1	2	3	4	5	6
Desinteressado	0	1	2	3	4	5	6
A Adormecer	0	1	2	3	4	5	6
Sonolência	0	1	2	3	4	5	6
Preguiça	0	1	2	3	4	5	6
Com sono	0	1	2	3	4	5	6

Adaptado do “*The Swedish Occupational Fatigue Inventory-20*”
Arbetslivsinstitutet, E. Åhsberg, F. Gamberale, A. Kjellberg, 1998

Obrigada pela colaboração!

8.2 Anexo II – Questionário ao Voluntário – Análise das Condições Térmicas nos Locais de Trabalho

Questionário ao Voluntário

Análise das Condições Térmicas nos Locais de Trabalho

1. Género: M <input type="checkbox"/> F <input type="checkbox"/>	2. Idade: _____	3. Peso: _____	4. Altura: _____
4. Categoria Profissional: _____		5. Tempo de Serviço (neste local) _____	
6. Horário de Trabalho (no dia do preenchimento do questionário): _____			

7. Como se sente neste preciso momento? (selecione a opção com que mais se identifica)

Com frio Excessivo	Com muito Frio	Com um pouco de Frio	Confortável, nem com calor nem com frio	Com um pouco de Calor	Com muito Calor	Com Calor Excessivo
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

8. Acha que este ambiente é...

Confortável	Ligeiramente desconfortável	Desconfortável	Muito desconfortável	Extremamente desconfortável
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

9. Neste momento gostaria de se estar a sentir...

Muito mais fresco (a)	Mais fresco (a)	Um pouco mais fresco (a)	Igual, nem mais quente ou frio	Um pouco mais quente	Mais quente	Muito mais quente
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

10. Tendo em conta unicamente a sua preferência pessoal, assinale a hipótese que expressa o seu grau de aceitação deste ambiente:

Claramente Aceitável	Aceitável	Inaceitável	Claramente Inaceitável
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

11. Na sua opinião este ambiente é...

<i>Perfeitamente Suportável</i>	<i>Ligeiramente mais difícil de suportar</i>	<i>Relativamente difícil de suportar</i>	<i>Muito difícil de suportar</i>	<i>Insuportável</i>
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Data: ____/____/____

Hora: ____h____min

Muito obrigado pela colaboração

8.3 Anexo III – Algoritmos utilizados para obter o RMS e MDF pelo MATLAB

```
clear all; close all; clc;
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%% Simulate neuropathy signal %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

Fs = 2000; % Sampling frequency
x = load('d:/Cut_signal/Sujeito1/10c/TASK/R/0-60.csv');
y = x(:,2);
T = 1/Fs; % Sample time
L = length(y); % Length of signal
t = (0:L-1)*T; % Time vector

% High pass filter
[b,a]=butter(4,10/Fs,'high');
yh=filtfilt(b,a,y);

% Low pass filter
[b,a]=butter(4,400/Fs,'low');
yl=filtfilt(b,a,yh);

%ABS of filtered
yabs=abs(yl);

% RMS calcualation
[b,a]=butter(4,10/Fs,'low');
yenv=filtfilt(b,a,yabs);

%Calculate the Envole Maximum value for normalization (only for CVM)
fprintf('Maximum Value:%d\n',max(yenv));

%% Plot raw signal
% Plot non filter
subplot(3,1,1);
plot(t,y);
title('Non filter raw signal of neuropathy')
xlabel('time (seconds)')

% Plot high psaa filter
subplot(3,1,2);
plot(t,yabs);
title('High pass filter of neuropathy raw signal')
xlabel('time (seconds)')

% Plot low pass filter
subplot(3,1,3);
plot(t,yenv);
title('RMS envelop of neuropathy raw signal')
xlabel('time (seconds)')

NFFT = 2^nextpow2(L); % Next power of 2 from length of y
Y1 = fft(yl,NFFT)/L;
f = Fs/2*linspace(0,1,NFFT/2+1);

%subplot(3,1,3),
```

```
plot(f,2*abs(Yl(1:NFFT/2+1)))
title('High+Low pass filter Amplitude Spectrum of neuropathy')
xlabel('Frequency (Hz)')
ylabel('|Y(f)|')

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%% PSD %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
h = spectrum.periodogram;
Hpsd = psd(h,yl,'Fs',Fs/2,'NFFT',2^nextpow2(L));
Pdist = cumsum(Hpsd.Data);
Freq = Hpsd.Frequencies;
figure(3); plot(Hpsd);

% Example - Welch method (continued from example 1) *****

n_t = numel(t);
seg_lth=500; % segment length
ovl_per=50; % 50 % of overlap
Hs = spectrum.welch('Hamming',seg_lth,ovl_per);
psd_welch=psd(Hs,yl,'Fs',Fs/2,'NFFT',n_t,'SpectrumType','onesided'); % Hs :
method (Welch)
Pdist1 = cumsum(psd_welch.Data);
Freq1 = psd_welch.Frequencies;
figure(4); plot(psd_welch); % Display PSD

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%% MDF %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
OverHalfIdx = find(Pdist>=Pdist(end)/2,1,'first');
UnderHalfIdx = find(Pdist<=Pdist(end)/2,1,'last');
MidFreq = (Freq(OverHalfIdx)+Freq(UnderHalfIdx))/2

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%% MNF %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
mf = sum(Freq.*Pdist)/sum(Pdist)

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%MDF1 %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
OverHalfIdx = find(Pdist1>=Pdist1(end)/2,1,'first');
UnderHalfIdx = find(Pdist1<=Pdist1(end)/2,1,'last');
MidFreq1 = (Freq1(OverHalfIdx)+Freq1(UnderHalfIdx))/2

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%% MNF1 %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
mf1 = sum(Freq1.*Pdist1)/sum(Pdist1)

normcumsumpsd = cumsum(Hpsd.Data)./sum(Hpsd.Data);
Ind = find(normcumsumpsd <=0.5,1,'last');
fprintf('Median frequency is %2.3f Hz\n',Hpsd.Frequencies(Ind));

normcumsumpsd = cumsum(psd_welch.Data)./sum(psd_welch.Data);
Ind = find(normcumsumpsd <=0.5,1,'last');
fprintf('Median frequency1 is %2.3f Hz\n',psd_welch.Frequencies(Ind));

%Calculate the Envelope Maximum value for normalization (only for CVM)
fprintf('Maximum Value:%d\n',max(yenv));
```